

第 1 章 要請の背景

第1章 要請の背景

1.1 要請の経緯

ジブティ国はアフリカ大陸北部で紅海の入り口にあたるバブ・エル・マンデブ海峡南側に位置している。ジブティ国は北をエリトリア、西でエチオピア、南でソマリアに面しており、東はアデン湾に面している。地勢的条件や自然条件から、同国の産業は近隣諸国に対する港湾・鉄道サービス等の第3次産業が中心の構造となっており、首都であるジブティ市が経済活動の中心となっている。

ジブティ市及びその周辺には同国全人口の63%にあたる約36万人が居住しているものと推定され、同市向けの給水はジブティ帯水層(Nappe de Djibouti)の地下水に依存している。ジブティ帯水層地域に建設された既存生産井は集中的な配置と過剰揚水により地下水が塩水化し、今後も更に塩水化の進行が予想されている。また、現在のジブティ市の水需要はジブティ帯水層の取水可能量を超えており、この地域の将来の水需要に対応するための新たな水源開発が国家の重要課題となっている。

ジブティ市向けの上水道は1993年にアフリカ開発銀行の融資により上水道マスタープラン(M/P)が策定され、同M/Pには緊急計画、2000年までの計画、2000～2015年までの計画に必要なサブ・プロジェクトが提案された。その後、ジブティ国政府は2000年以降のM/Pの計画見直しの実施を日本国政府に要請した。

この要請を受けて、日本国政府は1999年2月にプロジェクト形成調査団(給水問題)を派遣し、現地調査を行なった結果、過剰揚水及び生産井の集中配置により既存取水源であるジブティ帯水層の地下水塩水化が進んでいること、ジブティ市の水需要がジブティ帯水層の涵養量を既に超過していること、漏水対策が不備であること、全国水道公社(ONED: Office National des Eaux de Djibouti)による給水事業の運営が悪化していることが問題点として確認された。更に、将来的にも重要な水源となり続けるジブティ帯水層の長期的かつ有効な活用の観点から、地下水保全のための塩水化抑制が協力の方向性として最優先課題と提案された。

この結果を基に、ジブティ国政府はジブティ帯水層の保全と長期的活用のための地下水の塩水化抑制を大前提とした新規生産井の建設、既存生産井の生産調整、地下水の観測体制の整備、既存生産井の更新、に関し計画を策定し、日本国政府にこの計画の実施に関する無償資金協力の要請をした。

1.2 要請の内容

ジブティ国政府が要請した内容は下記に示すとおりであり、新規生産井建設には井戸建

設に加え、新規建設に伴う導水管敷設、送電施設建設も含まれている。

新規生産井の建設	11 本	(井戸施設、導水施設、送電施設を含む)
既存生産井の更新	6 本	
既存生産井の生産調整		
地下水の観測体制の整備		(観測井の建設を含む)

現地調査後、ジブティ国側実施機関「全国水道公社(ONED)」との協議の結果、当初要請の新規生産井 2 井 (Odawa-Est 及び Z8) は隣国ソマリアとの関係に照らして除外し、更新井戸 1 井 (E8) は実施機関の予算にて更新したため、同様に要請内容から除外された。

また、実施機関より更新井戸 2 井の建設につき追加要請があり、この 2 井を加えた次の要請内容で検討することとなった。

新規生産井の建設	9 本	(井戸施設、導水施設、送電施設を含む)
既存生産井の更新	7 本	
既存生産井の生産調整		
地下水の観測体制の整備		(観測井の建設を含む)

要請井戸の地区並びに仕様は表 1.1 に示すとおりであり、要請井戸位置を図 1.1 に示す。

表 1.1 要請の井戸リスト

区分	地 区	井戸名	計画深度 (m)	掘削径 (")	ケーシング径 (")	期待揚水量 (m ³ /時)
新規生産井	PK20 地区	F 3bis	230	12"1/4	9"5/8	45
		F 9bis	230	12"1/4	9"5/8	45
		F 10bis	230	12"1/4	9"5/8	45
	Gegada-Odowa 地区	Z 2	250	12"1/4	9"5/8	45
		Z 3	250	12"1/4	9"5/8	45
		Z 25	250	12"1/4	9"5/8	45
	Godchabel 地区	F 3	100	12"1/4	9"5/8	40
		F 4	130	12"1/4	9"5/8	40
		F 5	70	12"1/4	9"5/8	40
更新生産井	Nagad-Douda 地区	E 5	45	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 7	45	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 11	50	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 15	50	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 16	50	12"1/4	9"5/8	20-30
		RG2	50	12"1/4	9"5/8	35
	PK20 地区	PK20-2	241	12"1/4	9"5/8	40
観測井	Nagad 地区		50-70		4	

第 2 章 プロジェクトの周辺事情

第2章 プロジェクトの周辺事情

2-1 当該セクターの開発計画

2-1-1 上位計画

本プロジェクトの上位計画としては、ジブティ市都市開発マスタープラン（M/P）並びにジブティ市上水道マスタープラン（M/P）が挙げられる。ジブティ市都市開発 M/P は 1998 年国際開発協会(第 2 世銀:International Development Association)の融資により、社会基盤整備、公益・商業施設整備、環境保全計画等を網羅した開発計画であり、県庁所在地である Obock 市、Tadjourah 市、Ali-Sabieh 市、Dikhil 市の開発計画も同時に策定されている。この M/P の分野別サブ・プロジェクトは次に示すとおりであり、今回、ジブティ国政府から要請されているプロジェクトはサブ・プロジェクトの「5.井戸建設」に該当する。

表 2.1 ジブティ市都市開発計画の内訳

プロジェクト			コスト (百万 DJF)
1.大規模社会 基盤整備	交 通	1. RN1～RN2(ソマリア街道)	610
		2. N-S 道路 (RN2 より鉄道まで)	140
		3. 東側道路における南環状道路	65
		4. 26 通と E タイプの延長	150
	水 道	5. 井戸建設	1,000
		6. Balbala 地区配水池及び本管敷設	620
		7. 南地区本管敷設	385
		8. 人口増加に伴う配水管網強化	120
	鉄 道	9. 物流センター建設	460
		10. 鉄道プラットフォーム	320
2.宅地造成と 整備	街区人口増加対策	11. Gabode 地区及び STID/第 6 街区開発	850
	既存街区改善	12. 道路、排水、下水、水道、電気、街路灯	2,325
	新規住宅地域整備	13. Gollangalleley 第 1 区画整備	530
		14. Gollangalleley 第 2 区画整備及び Dabagalleley 第 1 区画整備	1,120
3.公益・商業施設整備		15. 学校及び診療所建設 (Balbala 南地区)	840
		16. 学校及び診療所建設(Balbala 南地区)	775
		17. 学校及び診療所建設(Gollangalleley 地区)	465
		18. Balbala 地区商業施設	140
4.付帯事項	調査	19. 水資源開発戦略	305
		20. 都市開発	180
		21. 排水整備計画と鉄道改正	243
	継続調査	22. 情報整備	120
	環境	23.Doraley 地区保全	20
		24. Waramous 地区保全	30

出典：Schéma Directeur de Djibouti et Identification de Projets Prioritaires, 1998

また、アフリカ開発銀行（ADB）の融資により、ジブティ市を対象とした上水道マスタープラン（M/P）が 1993 年に策定されており、この上水道 M/P では目標年次 2015 年までに実施すべきサブ・プロジェクトが提案されている。その後、各目標年次のサブ・プロジェクトの実施に伴い、ジブティ水資源全国委員会が M/P の見直しとして「ジブティ市給水事業

行動計画」を策定した。この行動計画は表 2.2 に示されるように 2 年～3 年以内に実施すべき 1 期計画(緊急計画)と中期的に実施すべき 2 期計画(中期計画)に分けられる。ジブティ国より日本国に要請のあった今回のプロジェクトは、1 期計画の「目標 1:ジブティ帯水層管理と保全」の深井戸建設にあたる。

表 2.2 ジブティ市給水事業行動計画

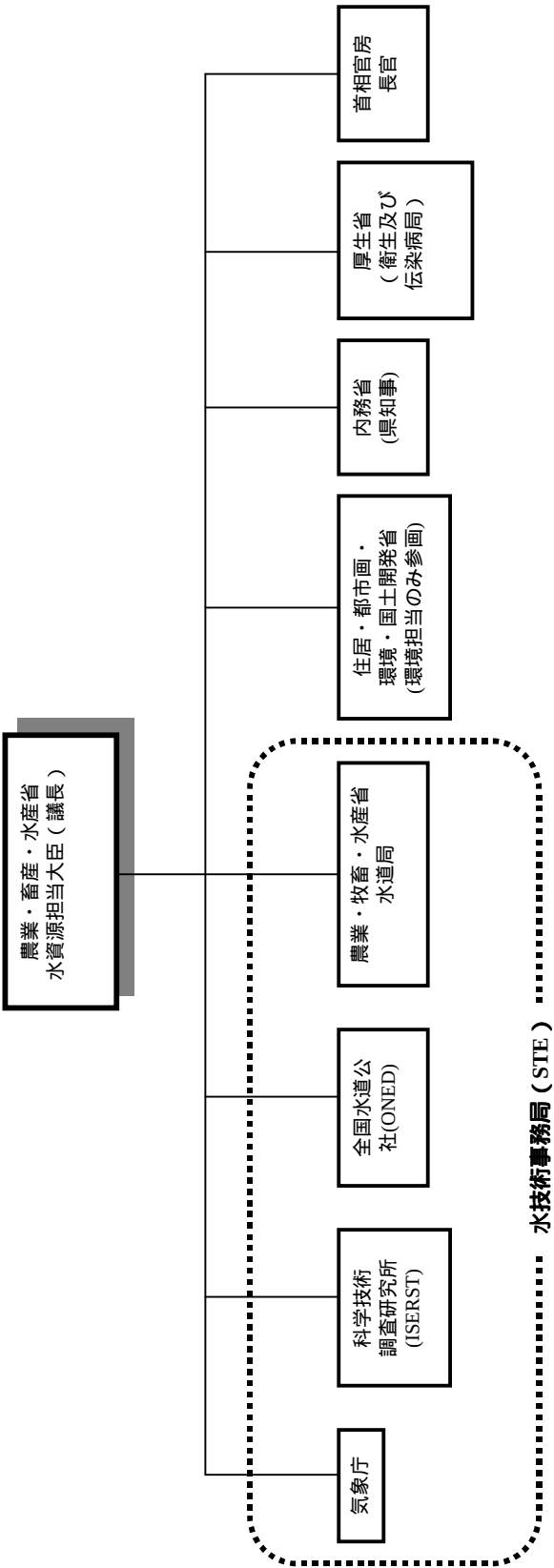
		サブ・プロジェクト	進捗状況
1 期(2 ～3 年 以内)	目標 1:ジブティ帯水層管理 と保全	1. ジブティ帯水層管理・保全調査	未着手
		2. 深井戸建設	本プロジェクトに該当 する。
		3. 社会経済調査	未着手
	目標 2: 南西部帯水層可能性	1. Hanle 地区深井戸における半年間 の揚水試験の実施	未着手
		2. 南西部地域帯水層開発可能量調査	未着手
	目標 3:他の選択肢技術経済 調査	1. Hanle 平原地下水と海水淡水化プ ロジェクト技術的・経済的比較調査	未着手
2 期	配水管網漏水改善		未着手
	ONED 組織改革		ONED 独自で実施中
	他選択肢プロジェクトの実現		未着手
	生産帯水層のモニタリング		ONED 独自で実施中

"Schéma Directeur National de l'Eau" より調査団が加筆。

2-1-2 ジブティ国の水道事業

ジブティ国の水道事業責任機関は農業・畜産・水産省が担当しており、給水事業の実施機関は都市給水と村落給水のレベル別に分けられる。首都並びに州都の都市給水事業の実施機関は ONED が担当しており、村落給水事業は農業・畜産・水産省直属の水道部 (Direction de l'Eau) が実施機関となっている。

また、ジブティ国内における水資源開発は全国水資源委員会 (Comité National des Ressources en Eau: CNRE) により検討され、水技術事務局(Secrétariat Technique de l'Eau: STE)が技術分野の調整を行なっている。全国水資源委員会の組織図を図 2.1 に示す。



ONED 関係者よりの聴取結果をもとに調査団が作成

図 2.1 水資源国家委員会組織図

2-1-3 財政事情

1996 年～2000 年までの国家財政収支を表 2.3 に示した。歳入の 90%以上は、消費税(30%)、所得税(20%)、アルコール・タバコ類税(10%強)等の税収という構造になっているが、景気後退を映し税収は伸びていない。一般歳出の内人件費の割合が約 60%(2000 年度)と最も大きいのが年々減少している。しかしながら、経常収支は恒常的に赤字であり、海外の援助および内外借款等で均衡を保っている状況であり、財政事情は極めて厳しい状況である。

国家財政が厳しい状況にあることから、公共事業への投資も困難な状況にあり、各セクターへの投資状況は海外からの援助動向により推移している。1999 年における水道事業への投資は、全体予算費約 43 億 DJF のうち 5.7%にあたる約 2.5 億 DJF が予算化されており、これらはヨーロッパ連合が援助しているプロジェクトに対して予算化されたものである。

尚、今回、ジブティ国より要請のあった本プロジェクトの実施機関である ONED は、首都および州都の給水事業公社であるが、財政的には独立企業体であり、都市給水事業に対する投資は ONED 独自の資金で実施している。従って、ジブティ政府は、都市給水事業に係わる投資に対し財政支出を行っていないが、ONED のアフリカ開発銀行 (ADB) からの借款 40 億 DJF (1999 年末現在) に対しては債務保証を行っている。

表 2.3 ジブティ国財政収支推移：1996 年～2000 年 (単位：億 DJF)

項目		1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
歳 入	税収	235	219	203	206	205
	その他	19	25	29	28	32
	計	254	244	232	236	237
歳 出	一般歳出	270	278	243	286	299
	投資	34	38	61	44	44
	計	304	316	304	330	343
経 常 収 支		-50	-72	-72	-94	-106
特別収支	国際援助	16	34	80	87	80
	国内外借款	40	17	-1	30	42
	支払滞納 ^(注)	-6	21	-7	-23	-16
	計	50	72	-72	94	106

出典：1996～1998 年は IMF 資料、

1999 年および 2000 年は「Budget de L'Etat pour L'exercice 2000-ジブティ政府」

注：当年度滞納額と過年度滞納支払額との差額 (マイナス表示は滞納額 < 滞納支払額)

2-2 他の援助国、国際機関等の計画

現在、上水道分野に関与している他ドナー国・援助機関は、イタリア、フランス、フランス開発庁(AFD)、欧州連合 (EU)、ADB が挙げられる。農業省が実施機関である村落給水を対象とした 61 給水地点開発計画に EU が協力しており、都市給水には、過去、イタリ

ア、AFD、ADB が M/P におけるサブプロジェクト(導水管敷設工事、PK20 井戸建設工事、Atar 地区井戸建設工事)に資金援助しており、現在はフランスが協力を行なっている。

現在、フランスが行なっている都市給水への協力は Hambouli ポンプ場改修であり、フランス大使館技術協力局が窓口となっている。フランスの協力は通常、フランス開発庁が行なうこととなっているが、この Hambouli ポンプ場改修はジブティ国駐留のフランス軍兵士削減にともなう特例として行なわれている。また、ドイツ復興金融金庫(KfW)も 1998 年～1999 年にかけて ONED にポンプ修理室、トラッククレーン供与等の援助をしている。

2-3 我が国の援助実施状況

ジブティ国に対する日本国の ODA 実績は 1982 年より、無償資金協力並びに技術援助を行っており、1996 年より草の根無償資金協力も開始されている。上水道分野における援助としては、過去、村落給水事業に対する無償資金協力が実施されている。

表 2.4 上水道分野の我が国の援助実施状況

案件名又は調査名	実施年度	供与額 (億円)	内 容
村落給水計画	92	4.74	・ 1 村落に対する給水施設の建設 ・ 建設資機材の調達
村落給水計画フェーズ 2 (1/2)	95	1.61	・ 16 地方村落を対象とした給水施設改善用 機材調達 ・ 地下水管理機材の調達
村落給水計画フェーズ 2 (2/2)	96	8.11	・ 3 村落給水施設建設と 1 村落取水施設改善 工事

2-4 プロジェクト・サイトの状況

2-4-1 自然条件

(1) 気候

ジブティ市の気候は熱帯の半乾燥地帯に属しており、季節は概ね夏期と冬期の 2 つに分けられる。5 月～11 月の間は最高気温が 30 ～43 となり、11 月～5 月は 30～35 となる。年間降水量は過去 5 年平均で 178mm と少なく、3 月、10 月及び 11 月に集中している。日降雨量が 10mm を超える日数は年 3.6 日と極めて少ないため、常時地表水の存在する河川や淡水湖はない。表 2.5～表 2.8 に 1995 年～1999 年におけるジブティ市の気温と降雨量を示し、図 2.2 にジブティ市の月別平均気温と降雨量を示した。

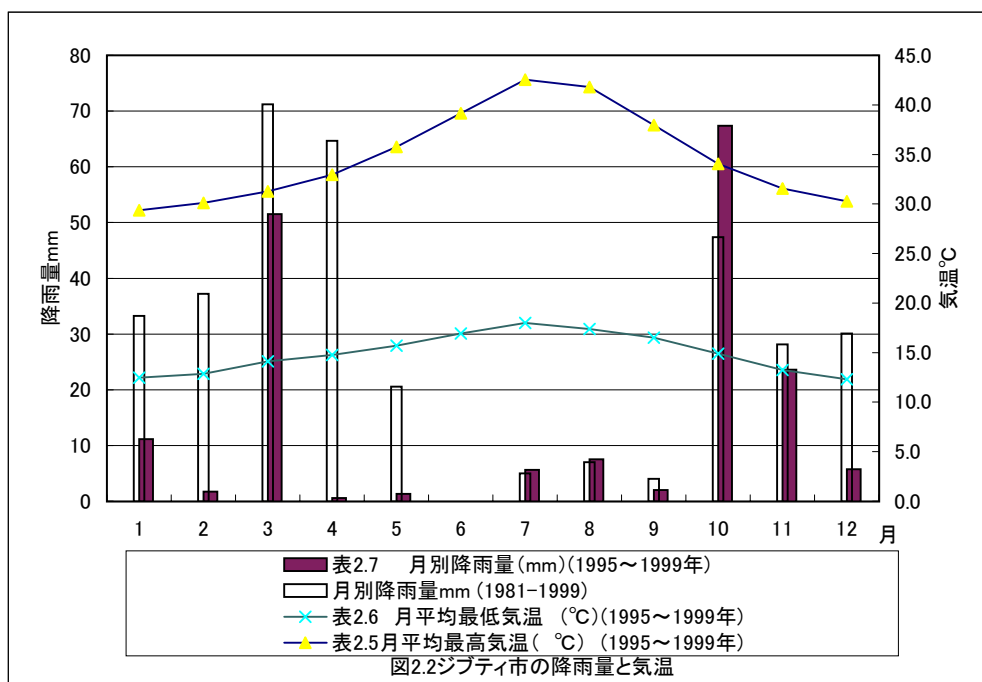


表2.5 月平均最高気温 () (1995 ~ 1999年)

年度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1995	29.6	30.1	31.2	32.8	35.3	37.6	42.4	42.3	37.5	34.1	31.6	30.2	34.6
1996	29.5	29.7	31.5	33.0	36.1	39.5	41.8	40.5	37.8	33.9	31.2	29.6	34.5
1997	28.7	29.7	30.6	32.5	34.6	39.8	43.5	42.7	36.8	32.4	31.3	30.5	34.4
1998	29.4	31.0	32.2	33.4	36.1	40.8	42.6	40.8	39.1	35.1	32.0	30.5	35.3
1999	29.7	30.1	30.9	33.1	36.7	38.0	42.5	42.7	38.6	34.7	31.7	30.5	34.9
平均	29.4	30.1	31.3	33.0	35.8	39.1	42.6	41.8	38.0	34.0	31.6	30.3	34.7

表2.6 月平均最低気温 () (1995 ~ 1999年)

年度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1995	20.8	23.3	25.2	26.9	27.3	28.8	31.3	31.2	28.8	26.0	22.9	23.2	26.3
1996	23.0	22.5	25.6	26.0	28.5	30.5	31.6	31.0	28.9	25.9	23.1	21.4	26.5
1997	22.0	21.7	24.6	26.2	27.5	30.8	32.8	31.6	29.1	26.3	25.2	22.1	26.7
1998	23.0	24.4	25.6	26.9	28.5	30.7	32.4	29.8	30.6	27.4	23.4	21.3	27.0
1999	22.1	22.5	24.6	25.2	27.7	29.6	31.8	30.9	29.4	26.7	23.1	21.3	26.2
平均	22.2	22.9	25.1	26.2	27.9	30.1	32.0	30.9	29.4	26.5	23.5	21.9	26.5

表2.7 月別降雨量 (mm) (1995 ~ 1999年)

年度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
1995	0.9	4.3	21.5	2.2	1.0	0.0	22.1	8.5	0.0	36.5	2.2	3.6	102.8
1996	6.8	0.7	3.7	Tr	5.6	Tr	Tr	Tr	0.9	8.0	2.0	0.2	27.9
1997	13.5	0.0	39.8	0.6	0.0	0.0	0.0	Tr	0.0	160.0	57.7	24.9	296.5
1998	30.7	Tr	3.5	Tr	Tr	0.1	5.5	14.2	Tr	4.8	4.1	0.0	62.9
1999	3.7	3.5	189.1	0.0	0.0	0.0	0.5	15.0	9.2	127.6	52.0	0.0	400.6
平均	11.1	1.7	51.5	0.6	1.3	0.0	5.6	7.5	2.0	67.4	23.6	5.7	178.1

表2.8 日降雨量が10mmを超える日数(1995 ~ 1999年)

年度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
1995	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	3
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	2	1	9
1998	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1999	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	1	0	5
平均	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	1.8	0.6	0.2	3.6

出典：天気予報課/気象局 データベース

観測地：ジブティ国際空港

Tr:一部記録なし

(2) 水理・地質

ジブティ国ではストライド層群、ダルハ玄武岩類及び基盤岩類が主要な帯水層となっており、層状の帯水層および水脈的帯水層を形成している。また、洪積層・沖積層も主要な水層として挙げられている。降雨量が少ないことから、地表面より広く地下水涵養されることは少ない。また、過去に実施されたトリチウムによる地下水流動を解析した結果では、地下水の年代は新しいものと確認され、地下水循環が早いことを示している。

調査対象地区の帯水層であるジブティ帯水層(Nappe de Djibouti)は第三紀から第四紀にかけて噴出した Golfe 玄武岩および第四紀堆積層によって構成されている。ジブティ帯水層の地質層序を表 2.9 に示し、図 2.3 に地質図を示す。

表 2.9 ジブティ帯水層の地質層序

地 質 時 代			地 層
第四紀	更新世～完新世	1.2 百万～現在	氾濫原堆積物、三角州堆積物、扇状地堆積物、浜堤堆積物、礁サンゴ石灰岩
	鮮新世～更新世	3.3 百万～1.0 百万年前	Golfe 玄武岩
第三紀	鮮新世	7.0 百万～4.3 百万年前	Somalie 玄武岩
	鮮新世	9.0 百万～3.8 百万年前	Dalha 玄武岩

ジブティ帯水層の大部分は Golfe 玄武岩からなり、その西限は Dalha 玄武岩との境界付近であり、また南限は Somalie 玄武岩との境界付近である。Golfe 玄武岩の分布する地域は溶岩台地となっており、その台地面は非常に平坦であり西から東に向かって平均勾配 0.7 度で傾斜している。Golfe 玄武岩が平坦な台地を形成しているのに対して、Dalha 玄武岩地域は比較的急峻な山地となっているため、両者の境界部は地形上で明瞭である。一方 Somalie 玄武岩は平坦な台地面を形成しているため Golfe 玄武岩との境界は地形上からは判断できない。

Golfe 玄武岩台地は東西方向や南北方向に発達したワジによって開析されている。溶岩台地の所々に緩やかな山腹勾配を持つスコリア丘や溶岩丘が散在している。これらのスコリア丘や溶岩丘は東西方向や南北方向に直線的に分布している場合が多く、広域的な断裂帯の方向性と調和している。

Golf 玄武岩のなかで帯水層として優れているのは、亀裂に富む硬質な玄武岩の部分や玄武岩溶岩中に挟存されたスコリア層である。これに対して、風化・変質により粘土化した玄武岩や亀裂に乏しい硬質玄武岩からは多くの地下水を期待できない。

- 凡例
- 第四紀堆積層
 - Somalie 玄武岩
 - 火山丘 (Golfe 玄武岩)
 - Golfe 玄武岩
 - Dalha 玄武岩
 - Mable 流紋岩
 - 火山ドーム
 - 主要村落

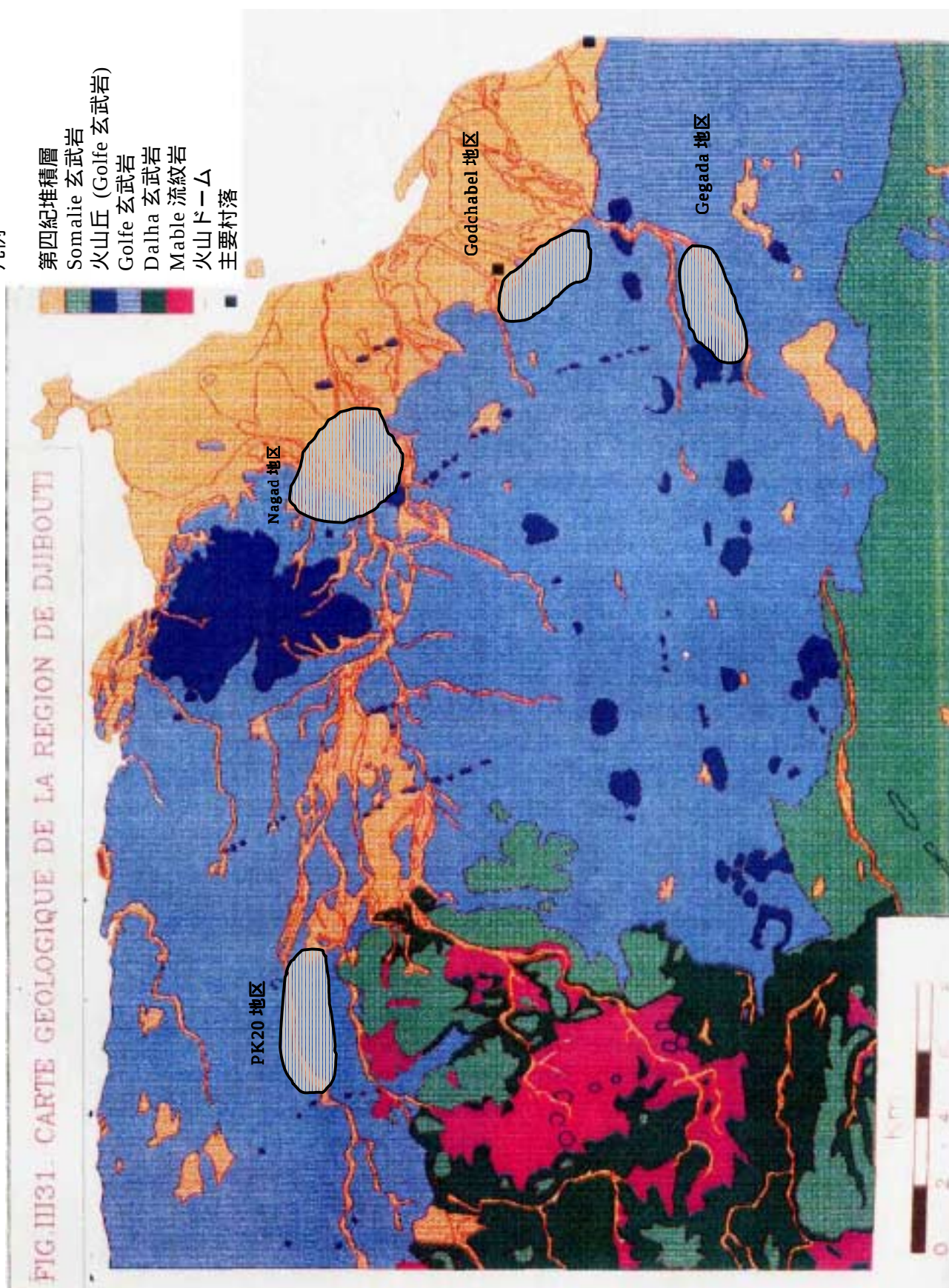


図 2.3 ジブティ帯水層の地質 (Dr. Jalludin, ISERST 1994)

2-4-2 社会条件と社会基盤整備状況

(1) 人 口

ジブティ国の人口センサスは 1983 年以降行われておらず、1999 年の人口を表 2.10 に示す 45～48 万人と推定している。この人口は、1983 年の人口センサスと統計局が実施した 1991 年の簡易人口調査から推計している。一方、1998 年に策定された都市開発 M/P では、1997 年におけるジブティ市の人口を表 2.11 に示すように約 33 万人と推定しており、この人口から人口増加率 3%とすると、2000 年の人口は約 36 万人と推定される。

表 2.10 ジブティ国人口

地域	1983 年	1991 年				1999 年推定人口	
	人口(千人)	人口(千人)	増加率(%)	世帯数(千戸)	世帯人数(人)	増加率 3%	増加率 4%
全国	318.7	519.9	6.3	76.9	6.8	658.6	711.5
ジブティ市	215.0	355.3	6.5	50.0	7.1	450.1	486.3
その他	103.7	164.6	6.0	26.9	6.1	208.5	225.3

出典：Recensement 1983、Enquete Demographique Intercensitaire 1991

表 2.11 ジブティ市地区人口(1997 年)

地 区 名	面積(ha)	人口(人)
1.Plateaux-Centre commercial	383	14,030
2.Salines Ouest	235	30,788
3.Salines Est	525	3,290
4.Anciens Quartiers Nord	64	39,725
5.Anciens Quartiers Sud	133	55,720
6.Hambouli-Djebel	226	38,390
7.Gabado	369	18,680
8.Balbala Est	396	75,585
9.Balbala Centre-Nord	450	32,800
10.Balbala Ouest	1290	17,992
11.Aéroport-Oued Hambouli	1280	0
合 計	4,069	327,000

出典：Schéma Directeur de Djibouti et Identification de Projets Prioritaires, 1998

(2) 道路・交通

ジブティ市と各県庁所在地を結ぶ国道はアスファルトにて舗装されているが、国道以外の道路は砂利舗装となっている。なお、ジブティ港と隣国エチオピアを結ぶ国道 1 号線は、現在のエチオピア国の国情から重要な輸送経路に位置付けられている。

ジブティ市内の道路は、環状道路が日本国や国際機関の援助により舗装改修工事が進んでいるが、支線道路網の舗装改修が遅れている。また、調査対象地域内の既存取水井は、ジブティ郊外の原野にあり、市内より井戸サイトまでは道路は整備されていないが、4 輪駆動車によるアクセスは可能な状況となっている。

また、ジブティ～エチオピア間は、鉄道も運行されており、エチオピアからの農産物等の輸送や旅客に利用されている。

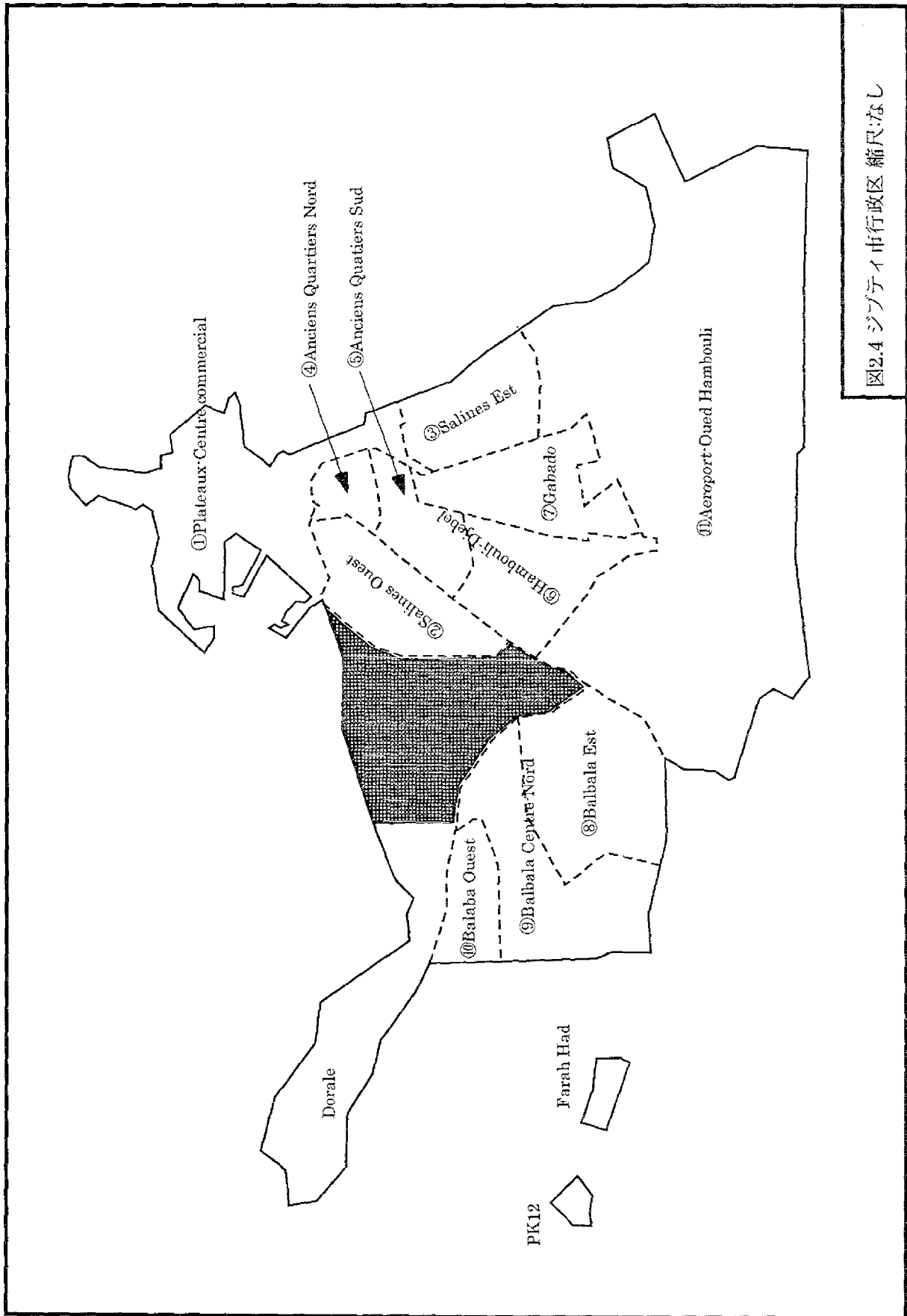


図2.4 ジブティ市行政区 縮尺:なし

(3) 電 力

ジブティ国の電力はジブティ電力公社（EDD）が供給しており、電力は火力発電方式となっている。1998 年における全国発電量は 135 千 MW・h（前年比 33%減）であり、消費量は産業用と家庭用がほぼ半々となっている。

ジブティ市内の電力は、市内の Bolaous 発電所より供給されており、この発電所はジブティ市内と Arta 市に電力供給を行なっている。1998 年以前は、同発電所の発電機の老朽化により停電が頻繁に起こる状況にあり、自家発電機を備えている事業者や一般家庭が多かった。その後、発電機が交換されたため、停電事情は大幅に改善された。

また、調査対象地域のうち、市内の Hambouli 送水場より既存取水井戸群までは基本的に 20,000V の井戸群専用中圧送電施設が整備されている。

(4) 下水道施設

ジブティ市における下水道は、基本的に雨水排水と汚水の分流式が採用されている。汚水は管路～汚水処理場(Douda 地区)のシステムにて集められているが、管路網が整備されている地域は Marabout 地区や Heron 地区に限定されている。その他の地域は貯留形式または浄化槽形式のトイレが採用され、汲み取り車にて汚水が集められている。

下水道関係者からの聴取では、Douda 地区に建設されている汚水処理場の公称処理能力は 4,280 m³/日であるが、現在の処理量は 1,000 m³/日とのことであった。しかしながら、目視による定期的な運転状況が確認できないため、既存施設の処理可能状況については不明である。

(5) 水需要量と給水状況

水需要調査は、1993 年の M/P 策定時における調査以外には実施されておらず、M/P 策定時の人口予測と水需要量は表 2.12 に示すとおりである。この計画におけるジブティ市の給水原単位は、次に示すように市内の地区毎に設定されている。高級住宅街や官庁街の給水原単位は非常に高く設定されており、ほぼ先進国に近い計画となっている。

旧市街地及びバルバラ地区	30～60	ℓ/日/人
商業地域	170	ℓ/日/人
高級住宅地区、官庁街及び産業地区	350～400	ℓ/日/人

表 2.12 ジブティ市の人口予測と水需要量予測

年	1992	1995	2000	2005	2010	2015
人 口 (人)	282,198	319,269	392,189	474,869	566,725	666,613
水需要量(m ³ /年)	8,640,881	11,300,000	13,200,000	15,400,000	17,800,000	20,400,000
水需要量(m ³ /日)	23,673	30,959	36,164	42,192	48,767	55,890

出典：“Etude de planification et de developpement des infrastructures d'approvisionnement en eau potable”

その後、実施機関である ONED は M/P の見直し時に水需要予測を行なった。この水需要予測は原 M/P で予測された水需要量を人口増加率や配水管網漏水の段階的削減から補正し、2000～2025 年までの期間を予測している。表 2.13 に示すとおり、2000 年における水需要量は 2,000 万 m³/年と推定しているが、ジブティ帯水層から 1,500 万 m³/年以上の取水は困難であることが過去の実績でも明らかであった。

表 2.13 水需要予測

シナリオ	予測方法	水需要量(百万 m ³ /年)		
		2000	2015	2025
1	原 M/P	17	26	34
2	原 M/P を人口増加率 4%/年で補正	22	29	32
3	原 M/P を配水管網漏水の段階的削減で補正	18	32	45
4	原 M/P を人口増加率 4%/年と配水管網漏水の段階的削減から補正	23	35	43
採用	上記の平均値	20	30	38

出典：ジブティ市水道 M/P, 2000

また、各配水区域に居住する住民の水利用状況を確認するため、水利用実態調査を Balbala 地区、Centre-Ville 地区、Heron 地区及び Hambouli 地区を対象として行なった。この水利用実態調査は標本調査方法にて行ない、総標本数は 160 本であった。各地区の特徴を次の表 2.14 に示す。

表 2.14 調査実施地区の特徴

地区名	標本数	地区の特徴
Balbala	74	市郊外の西部に位置する新興住宅地で、エティオピア方面への主要国道に沿った地区。近年人口が増加している。
Hambouli	37	市南部に位置する工業地域。Hambouli ポンプ場、フランス軍施設、陸上競技場、発電所、空港等がある。
Centre-Ville	39	旧市街地を含むジブティ市の中心地区で商業地域。官公庁、銀行、ホテル、病院、外国公館、フランス軍施設、港湾施設等がある。
Heron	10	ジブティ市北部に位置し、高級住宅街、国際機関、外国公館がある。

調査の結果、全地域とも一年を通じて給水量が不足しているが、Heron 及び Centre-Ville 地区の給水状況が比較的良く、その他地域は安定した給水を受けられる時間が限定している。特に、一日におけるピーク時や乾期においては断水に近い状況となっ

ている。また、塩辛さを感じながらも飲料に使用している家庭が多い。

給水現状に対する意見としては、長時間の断水に対する事前予告の要望が多く、続いて水圧・水量不足に対する不満、塩分濃度の軽減、料金値下げ要望等であった。標本調査地域の給水に関する状況は次のとおりまとめられ、各地区の調査結果を表 2.15 に示す。

平均家族数は 6.0 人であり、1991 年に行なわれた簡易人口調査結果のジブティ市平均 7.1 人に比べ少ない。

水道接続年度は、60 年代 2 件、70 年代 25 件、80 年代 31 件、90 年代 61 件、2000 年が 4 件で、90 年代が最も多い。

水圧は「中位」が 60%と多いが、「弱・大変弱い」が 35%あり、特に Balbala 地区は「大変弱い」が 50%以上であった。

給水量は全地区とも少なく、24 時間給水の受けられる地域はなく、ピークの時間帯(午前中)は給水の受けられる地域が限定されている。特に夏期は断水に近い状況である。

Heron 地区は水道水を飲料していない世帯が多く、他地区で飲料している家庭は殆どが塩辛さを感じている。

給水不足から、全世帯がドラム缶や貯水槽等の貯水手段を保有し自衛策を講じている。

水道料金は平均 4,100DJF/月であり、平均家計収入(128,000DJF/月)の 3.2%を占めている。滞納経験は全体で 25%だが、Balbala 地区では 60%と非常に多い。

表 2.15 水利用実態調査結果

項目		Ba bala 地区	Hambouli 地区	Centre-Ville 地区	Heron 地区	調査地区全体
調査件数		74 件	37 件	39 件	10 件	160 件
家族数		平均 7.8 人 (最少 2 人、最多 15 人)	平均 4.7 人 (最少 2 人、最多 8 人)	平均 7.7 人 (最少 3 人、最多 15 人)	平均 3.7 人 (最少 5 人、最多 2 人)	平均 6.0 人 (最多 15、最少 2)
給水源		全量 ONED からの給水 58 件、給水車 7 件、共同水栓 8 件、その他 1 件	37 件全てが ONED からの給水	37 件が ONED からの給水、2 件は隣家からのもらい水	全家庭が ONED からの給水だが、水が幸いたため飲料水は別途購入	ほぼ全家庭が、ONED からの給水を受けているが別途手段で水を確保している。
水道接続年度		平均 1995 年 (80 年代 10 件、90 年代 36 件、00 年 3 件、不明 9 件)	平均 1988 年 (70 年代 2 件、80 年代 20 件、90 年代 15 件)	平均 1982 年 (60 年代 2 件、70 年代 16 件、80 年代 9 件、90 年代 9 件、00 年 1 件)	平均 1978 年 (70 年代 7 件、80 年代 2 件、90 年代 1 件)	平均 1985 年 (60 年代 2、70 年代 25、80 年代 31、90 年代 61、00 年代 4)
1 引込み当りの状況		家庭数は平均 2.6 蛇口数は平均 2.4 個 (最多 12 個)	家庭数は平均 2.9 蛇口数は平均 2.0 個 (最多 9 個)	家庭数は平均 1.5 蛇口数は平均 2.6 個 (最多 6 個)	家庭数は平均 2.9 蛇口数は平均 7.9 個	家族数平均 2.5 蛇口数平均 3.7
水圧・水量		50%以上大変弱、弱・中位が 20%ずつ 半分が大変少なく、普通は 20%弱、特に夏期には不足。水圧・水量とも日変動があり不十分であるとの意見が多い。	中位 70%が少なく、夏期には不足	中位 80%だが、大変強いも 10%あり普通であるが、夏期には不足	全家庭が中位 少ない、特に夏期には不足	強 5%、中位 60%、弱 5%、大変弱 30% 水量は少なく、特に夏場に不足
給水時間	24 時間	皆無	皆無	皆無	皆無	皆無
	出が速い曜日	毎日、特に休日の金曜日と前日の木曜日	木曜日 40%、休日にあたる金曜日 40%	毎日、特に休日の金曜日とその前後	特に休日の金曜日	ほぼ毎日で、特に休日の金曜日とその前後の日が多い
	出が遅い時間	半分の家庭が正午、30%は朝	60%が朝に出が悪く、30%が量と夜	70%が量から夜にかけて出が悪くなる	朝と量が 4 : 6 の割合で出にくい	日中それも午前中・量が多い
水質	給水制限	毎日 27 件、週 2 ~ 3 日 19 件、ほぼ一日わたり約 10 時間制限され他地区に比べて長い。おおまかに午前中 2 ~ 7 時間 18 件、午後 2 ~ 10 時間 7 件、朝 6 時から翌朝 5 時まで 18 時間以上 16 件に分類される。いずれも夏期に断水あり。	ほぼ毎日。平均約 5 時間半以上、少ないのは 2 時間、多いのは 8 時間と差がある。時間帯も 8 割が朝 6 時から午後 2 時にかけて、残り 2 割は午後 2 時から 6 時にかけて。夏期には断水がある。	ほぼ毎日あり、早朝から夕方にかけて、約 9 時間制限される。夏期に断水がある。	ほぼ毎日が 3 件、残りは週に 1 ~ 2 日、朝 8 時頃から午後 3 時頃にかけて、約 5 時間制限される。夏期には断水がある。	Heron を除く 3 地区は、ほぼ毎日、全体で、5 時間以上。夏期には断水。
	水質	どの家庭も水道水を飲用しており、ほとんどが少々々々以上の辛さを感じている。	90%以上の家庭で水道水を飲用しているが、全家庭において少々辛いと感じている。	どの家庭も水道水を飲用しているが、少々辛い 40%、非常に辛い 20%。	どの家庭も水道水を飲用していない。	Heron 地区は飲料料していない。他地区は、いずれも塩辛さを感じている。
家庭用貯水槽		全家庭が保有。材質はドラム缶、樽などが主で、他にブリキ缶、ジェリー缶、フアイバー製がある。容量は平均 380 ㍓ (最大 1000 ㍓-2 件)。	全家庭が主にブリキ缶を保有、他に樽 2 件、フアイバー製 5 件。容量は平均 685 ㍓、2000 ㍓の家庭が 5 件ある。	1 件を除き全家庭が保有。材質はブリキ缶、ドラム缶、ジェリー缶などが主で、フアイバー製も 2 件ある。容量は平均 250 ㍓ (最大 400 ㍓、最小 50 ㍓)。	全家庭がフアイバー製の貯水槽を保有。容量は平均 2200 ㍓ (最大 4000 ㍓、最少 1000 ㍓)。	ほぼ全家庭で何らかの貯水手段を講じている。Heron 地区はフアイバー性の平均 2000 ㍓の大容量、他地区はドラム缶、樽など平均 3 ~ 700 ㍓。
水道料金	メータ	ONED から給水を受けている全家庭に設置。大半は正常に作動 (約 10%の 5 件で故障)。検計は年 6 回。	メーターは全家庭に設置、正常に作動。検計は年 6 回。	メーターは全家庭 (もらい水の 1 件を除く) に設置、正常に作動。検計年 6 回。	メーターは全家庭に設置、正常に作動。検計は年 6 回。	メーターは全家庭に設置、正常に作動。検計は年 6 回。
	支払月料金	全家庭 ONED の窓口で直接支払い 平均 32000F であるが、最低が 2500F、最高が 8750 DF と大きな差がある。60%が滞納したことがある。滞納した場合は、ONED から郵便・直接口頭での督促がある。	全家庭 ONED の窓口で直接支払い 平均 46000F (最低 1750 DF、最高 7500 DF)、20%の家庭が高いと感じている。滞納はなし。	全家庭 ONED の窓口で直接支払い 平均 34000F (最低 500 DF、最高額 7500 DF)、料金は妥当 60%、高い 40%、30%が滞納経験を有す。	全家庭 ONED の窓口で直接支払い 平均 53000F (最低 40000F、最高 65000F)。 全家庭の 80%が料金を妥当であるとしている。滞納なし。ミネラルウォーターを月平均 11800 DF。	全家庭 ONED の窓口で直接支払い 平均 4100 DF。 料金が高い 30%、安い 1%、妥当 70%。 滞納経験 25%、特に Ba bala 地区が 60%と多い。
エネルギー料金	電気	平均 68500F、水道料金の 2.0 倍	平均 77000F、水道料金の 1.7 倍	平均 85500F、水道料金の 2.5 倍	平均 155000F、水道料金の 3 倍	平均 96000F、水道料金の 2.3 倍
	燃料	平均 44000F	平均 27000F	平均 58000F	平均 66000F	平均 49000F
家計収入		平均 68500FD (最低 15000FD、最高 200000FD) 家計収入に占める水道料金は 4.5%。	平均 82000FD (最低 30000FD、最高 330000FD) 家計収入に占める水道料金は 5.0%。	平均 80000FD (最低 21000FD、最高 300000FD) 家計収入に占める水道料金は 4.5%。	平均 262000FD (最低 230000FD、最高 320000FD) で、他地区に比べて高い。家計収入に占める水道料金は 2%。	平均 1280000FD 家計収入に占める割合 : 3.2%
給水現状に対する意見		長時間の断水を回避し、安定した、良質な飲料水の供給を望んでいる。また、多くはないが、料金値下げの要望もある。ONED の管理不足や職員の業務に対する不満も挙げられている。給水車を利用している家庭は、水道管の敷設を強く希望している。	ほぼ全家庭が長時間の断水は事前に通知してほしいと要望しているが、全般的に現在の給水状況には満足している。	長時間の断水は事前に通知してほしいという要望が多い他、水圧を強く、塩分満度を少なく、という要望が挙げられている。また、料金値下げの要望もある。もらい水をしている家では、水道は無料で供給するべきだという意見も出されている。	・ 長時間の断水は事前に通知してほしいという要望が多い (全地区) ・ 水圧・水量不足に対する不満 Heron、Centre Ville) ・ 塩分満度を少なく (Hambouli) ・ 料金値下げの要望 (Ba bala)	・ 長時間の断水は事前に通知してほしいという要望が多い (全地区) ・ 水圧・水量不足に対する不満 Heron、Centre Ville) ・ 塩分満度を少なく (Hambouli) ・ 料金値下げの要望 (Ba bala)

注 : 調査件数は 160 件だが、質問項目によっては未回答もあるので、調査結果は回答件数に基づき集計している。

2-5 既存水道施設の現状

2-5-1 既存給水システム

ジブティ市の給水システムは、図 1.1 に示すように取水井戸施設、導水施設、送水施設、配水施設から構成されている。取水井戸はジブティ市内から 3km ~ 27km の郊外に位置する 2 つの井戸群（以後、南東に位置する井戸群を「ジブティ系統井戸群」、PK20 地域生産井を「PK20 系統井戸群」と称す）を取水源としている。

ジブティ系統井戸群から取水された地下水は、導水管を通じて Hambouli ポンプ場内の着水井に集められ、その後、送水ポンプによりジブティ市内配水池を経由して、ジブティ配水区に配水されている。また、Hambouli ポンプ場から、一部 Balbala 配水場にも送水されている。PK20 系統井戸群からの地下水は着水井を通じて Balbala 配水場に集められ、Balbala 地区に配水されている。

ジブティ市内の給水状況は極めて悪く、乾期に水不足が著しい。冬季はかろうじて 24 時間給水されているが、夏季は安定して給水がうけられる時間帯は 23 ~ 2 時である。これは、基本的に水量の不足のため、配水施設の機能と現在の水量とが合致していないことと配水管網の漏水が起因しているものと判断される。ONED はこの給水量の不足に対して、特に地域給水や時間給水等の対策は実施していない。

2-5-2 既存生産井

(1) 既存生産井建設の背景

ジブティ市向けの取水井戸は 1962 年より建設が開始され、1998 年までに生産井 46 井が建設されている。このうち 15 井が放棄され、現在、32 井が生産井となっている。32 生産井のうち、ポンプや電気系統を点検中の生産井があり、調査期間中は 24 井が稼働していた。表 2.16 に既存井の状況を示す。

既存生産井は建設当初、最も水理地質的に条件が良い Nagad 地区に建設され、その後、Douda、Damerjog、Atar 地区に拡張されていった。Nagad 地区は既存井戸群の中で最も生産井が集中しており、300 ~ 800m と近距離に建設されている。尚、群井効果の影響を避けるため、井戸間距離は 1000m 以上を確保するのが一般的な配置である。

(2) 井戸構造

既存生産井のケーシング及びスクリーン材料は鋼管、PVC 管、ステンレススチール管が採用されており、1990 年以前に建設された井戸では鋼管が主として利用されている。1995 年、水中テレビカメラを用いた既存井調査が、フランス国の技術協力にて行なわれ

ており、15 井を対象に行なわれている。このときの記録ビデオでは、鋼管が使用されている既存井のケーシングやスクリーンに腐食やスケールの付着が確認された。スクリーンに付着しているスケールはスリットを閉塞しており、揚水量低下も生じているものと推定される。PVC 製井戸ではこれらの状況は生じていない。

また、既存井の静水位と動水位を確認したところ、Nagad 地区を含む沿岸地域の 15 井は運転時の動水位が海水面以下となっており、海水の引き込みから塩水化が進んでいるものと推定される。また、前述のスクリーン閉塞も流入抵抗による井戸損失に影響を与えているものと考えられ、井戸内の水位が大きく低下していることも推定される。

(3) スクリーン

既存生産井のスクリーンはスリット形が採用されており、開口率は 1～5%程度である。基本的にスクリーンは、地下水位面以下に全て設置されており、多くの井戸で水中ポンプがスクリーン区間に据付けられている。

スクリーンが地下水位面以下に全て設置されている井戸は、ジブティ国井戸業者により建設された井戸であり、フランス国系業者が建設した井戸は帯水層にのみスクリーンが設置されている。

(4) 既存生産井の揚水量

既存生産井の揚水量は、ONED 水理地質室が毎月井戸元の流量計から計測している。既存生産井に設置されている流量計は積算計タイプであるため、一定時間の積算流量から瞬時流量を求めている。しかしながら、32 井のうち、流量計の良好なものは 12 カ所（37%）にすぎず、6 カ所は稼動していても数字の判読が困難で、残りの 14 カ所は故障している。水理地質室では流量計の故障している井戸については 200 リットのドラム缶を利用して年 1 回程度の計測を行っているが、実際に導水されている水量ではなく、井戸元での揚水計測結果であるため、揚水量としては使用できない。

これらの実測データは 1992 年 1 月からのものが利用可能であり、これらのデータをもとに各月毎の流量の時系列的変化を確認すると、データの欠測が多いためその傾向は明瞭ではないが全般的に流量が不規則である。ある年を境に急激に流量が変化した場合は容量の異なるポンプの入れ替えを行ったことが推定される。RG1, E5, E6, E9b, E21, E33, E24, E35, E36 は流量が減少傾向にある。

ONED 水理地質室が計測している生産量のほかに、技術部が纏めている生産量が ONED の年報と月報に公表されている。この生産量は実測値ではなく、ポンプの能力をもとに停電やポンプ故障による運転停止時間を控除した運転時間から水量を求めている（1999 年度の年間取水量は約 1,354 万 m³）。既存生産井 32 井のうち、E1、E17、E33、E36、PK20-2 の 5 井戸については電気系統、スクリーン、ポンプの落下等の問題があり、

現在長期にわたって運転を停止している。これら停電や水中ポンプの故障等による井戸の生産停止が年間生産量の 10%程度と計算され、最大可能取水量は約 1,490 万 m³/年と推定される。しかしながら、12 月～4 月までの冬期では消費量は下がる傾向であることから、季節変動を考慮すると、年間取水量は約 1,300 万 m³ 程度が妥当な取水量であると判断される。

前述の水理地質室による計測値と技術部による推定値を検証するため、流量メータからの計測値と超音波流量計から計測した値を比較した結果、表 2.17 に示すように既存生産井 RG1、RG2、E5、E7、E21、E24、E27 に関して、水理地質室の数値と調査団の実測値に開きがあった。実測値との比較の結果、現在公表されている取水量はほぼ実数値に近いものと推定されるが、いずれにしても、信頼性に欠ける。

Hambouli 送水ポンプ場には着水量の計測機器は設置されておらず、送水ポンプの吐出し側の電磁流量計も故障している状況であった。今後、本計画が実施された場合、ジブティ帯水層からの揚水量管理、生産井戸群の生産調整を行うためには、取水量の正確な把握が必須であり、そのために、井戸元の流量計の整備が必要とされる。

なお、Hambouli 送水ポンプ場内計測機器についてはフランス国の援助により実施予定のポンプ場拡張工事に含まれている。

2-5-3 揚水施設及び付帯施設

揚水施設は基本的に井戸管理建屋内に設置されている。現地調査の結果、この建屋の寸法には特に規格はなく、プロジェクト毎にその寸法が提案されている。既存井戸の多くは、圧力計、逆止弁、仕切弁等の付帯設備が設置されておらず、流量計が故障している既存井戸もあり、流量管理が実施できない状況にある。流量計の故障は地下水の高い水温も関連しているものと思われ、特に PK20 地点の既存井戸は水温が 50℃ にも達している。

同様に水中ポンプも故障の頻度が高く、年 1 回程度モータ部の交換を行っているとのことであった。また、関係者からの聴取では、建設時に設置された水中ポンプ電動機の始動方式はスターデルタ方式であったが、故障後に調達された水中ポンプは全て始動方式がスターデルタ方式ではなく直入れ方式となっている。従って、低水位リレーが設置されていないことから、地下水動水位が水中ポンプ吸い込み口以下となった場合、モータが焼損しやすい状況にある。

表 2.16 既存井の状況 (1/4)

区分	番号	井戸名	地区	現状	運転状況	建設年度	スクリーン及びケーシング	ONEDの要請	備 考
生産井	1	RG1	Balbala	生産井	運転	1965	鋼製		① 水位低下量が大きい (ONEDからの聴取)。 ② 変圧器等電気系統が故障のため2000年8月時点では運転停止中。
	2	RG2	Balbala	生産井	運転	1965	鋼製	更新要請	水位低下量が大きく、全溶存塩分が高い (ONEDからの聴取)。 ② 井戸孔内に錆びが確認され、スケールがスクリーンを塞いでいる (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ GL-21m以下より最下部までスクリーンであり、所々でスクリーンの破損が確認される (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。
	3	RG3	Balbala	生産井	運転	1965	鋼製		水位低下量大きい。
	4	RG4	Balbala	閉鎖					
	5	RG5	Balbala	閉鎖					
	6	RG6	Balbala	閉鎖					
	7	RG7	Balbala	閉鎖					
	8	E1	Nagad	生産井	停止	1962	鋼製		① 全溶存塩分値が高い。 ② 電気系統の問題から2000年5月より稼動していない。 ③ ケーシングの腐食 (ONEDからの聴取)。 ④ 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障 (ONEDからの聴取)。
	9	E2	Nagad	生産井	運転	1962	鋼製		① 井戸構造が老朽化している。 ② 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障 (ONEDからの聴取)。
	10	E3	Nagad	生産井	運転	不明	鋼製		① 井戸構造が古い。 降雨により電気系統が故障し、一時的に運転停止に陥りやすい。 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障 (ONEDからの聴取)。
	11	E4	Nagad	閉鎖					
	12	E5	Nagad	生産井	運転	1964	鋼製	更新要請	流量計故障。 ② GL-8m地点でケーシング破損 (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ GL-23m地点にて水中ポンプ吸い込み部カバーが落ちている。 ④ 水中ポンプが1年ぐらいで故障している (ONEDからの聴取)。
	13	E6	Nagad	生産井	運転	1964	鋼製		① GL-12m地点から、ケーブル又は鉄筋のような落下物確認 (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ② GL-14m以降でかなりの錆びを確認 (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ 井戸底に井戸底キャップが設置されていない (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ④ 井戸構造が古く、ケーシングが歪んでいる。 ⑤ 水中ポンプの引き上げと設置が困難である (ONED聴取)。 ⑥ 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障 (ONEDからの聴取)。
	14	E7	Nagad	生産井	運転	1964	鋼製	更新要請	GL-27m以下より地下水面となり、かなりのスケール付着が確認される (水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ② GL-16 ~ 27mでケーシングの亀裂と腐蝕が確認される (1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障 (ONEDからの聴取)。

表 2.16 既存井の状況 (2/4)

区分	番号	井戸名	地区	現状	運転状況	建設年度	スクリーン及びケーシング	ONEDの要請	備 考
生産井	15	E8b	Nagad	生産井	運転中	2000	PVC		① 従前のE8はGL-41m付近で鉄筋のような落下物を確認される。 ② 2000年度のONED予算にてE8bとして更新工事済み。 ③ 2001年3月時点で運転中。
	16	E9	Nagad	閉鎖					
	17	E9b	Nagad	生産井	運転	1972	鋼製		① 流量計故障。 ② GL-34m付近でスクリーンの破損が確認される(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障(ONEDからの聴取)。
	18	E10	Nagad	閉鎖					① スクリーンが設置されていない(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ② 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障(ONEDからの聴取)。
	19	E11	Nagad	生産井	運転	1964	鋼製	更新要請	① 周辺住民が井戸付近に公共水栓を設置(ONEDからの聴取)。 ② 住民からの破壊行為を受け易い。 ③ 井戸孔内にかなりのスケールが付着(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ④ 井戸底に約5m厚さの堆積物があるものと推定される(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ⑤ 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障(ONEDからの聴取)。
	20	E12	Nagad	生産井	運転	1965	鋼製		① 流量計故障。 ② 水中ポンプ落下(ONEDからの聴取)。 ③ 井戸底部GL-36mで砂の堆積物確認(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ④ GL-35m地点にスクリーン破損(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ⑤ 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障(ONEDからの聴取)。
	21	E13	Nagad	生産井	運転	1972	鋼製		① 流量計故障。 ② 水中ポンプが1年に一回の頻度で故障(ONEDからの聴取)。
	22	E14 (P18)	Nagad	閉鎖					
	23	E15	Douda	閉鎖	停止			更新要請	水中ポンプ落下(ONEDからの聴取、記録なく時期は不明)。
	24	E16	Douda	閉鎖	停止			更新要請	① GL-11m付近でケーシングがかなり損傷を受けている(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ② GL-22mよりケーシング及びスクリーンが設置されていない(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ 水中ポンプ下部落下(ONEDからの聴取、時期不明)。
	25	E17	Douda	生産井	停止	1977	鋼製		① GL-24m以降に水中ポンプのような落下物が確認される(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ② GL-24m以降でスクリーンにスケールの付着が確認される(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ③ 稼動すると砂を吸い込むため、1年前にポンプを撤去(ONEDからの聴取)。
	26	E18	Douda	生産井	運転	1975	鋼製		井戸構造の老朽化以外に問題なし。
	27	E19	Douda	生産井	運転	1977	鋼製		① GL-29m以降のスクリーン部分にかなりのスケールが付着している(1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認)。 ② 2000年8月の豪雨で電気系統の故障から一時運転停止(ONEDからの聴取)。 ③ 付近住民からの破壊行為を受けやすい以外に問題なし(ONEDからの聴取)。

表 2.16 既存井の状況 (3/4)

区分	番号	井戸名	地区	現状	運転状況	建設年度	スクリーン及びケーシング	ONEDの要請	備 考
生産井	28	E21	Damerjog	生産井	運転	不明	鋼製		① GL-21m付近から、井戸水位計測用のPVC管らしきものが落下している（1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認）。 ② 井戸底に井戸底キャップが設置されていない（1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認）。 ③ 2000年9月の豪雨で電気系統の故障から一時運転停止（ONEDからの聴取）。 ④ 付近住民からの破壊行為を受けやすい（ONEDからの聴取）。
	29	E22	Damerjog	生産井	運転	不明	鋼製		① 2000年9月の豪雨で電気系統の故障から停止（ONEDからの聴取）。 ② 付近住民からの破壊行為を受けやすい（ONEDからの聴取）。
	30	E23	Damerjog	閉鎖					
	31	E24	Atar	生産井	運転	1978	鋼製		井戸孔内にスケールが確認されるが（1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認）、今のところ、揚水には影響はないものと判断される。 揚水量を増加すると全溶存塩分値が高くなる（ONEDからの聴取）。
	32	E25	Atar	生産井	運転	1975	鋼製		問題なし。
	33	E26	Atar	生産井	運転	1978	鋼製		① GL-27m以降にケーブルとPVC管の落下物が確認される（1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認）。 ② 付近住民からの破壊行為を受けやすい（ONEDからの聴取）。
	34	E27	Atar	生産井	運転	1985	PVC		① 水中ポンプ検査後に再度運転開始。 ② 揚水量が多く、ポンプの故障が多い（ONEDからの聴取）。 ③ 全溶存塩分値が高い（ONEDからの聴取）。
	35	E29b	Damerjog	生産井	運転	1995	PVC		GL-36付近のスクリーン1本分でスクリーン破損が確認され（1995年実施水中ビデオカメラ記録からの確認）、段々と亀裂が広がっている。今後、横スリットが亀裂からとれる恐れがある。今のところ、運転に問題は確認されていない。
	36	E30	Nagad	生産井	運転	1996	PVC		問題なし。
	37	E31	Damerjog	生産井	運転	1991	PVC		問題なし。
	38	E32	Damerjog	閉鎖					
	39	E33	Godchabel	生産井	停止	1993	PVC		ポンプ落下のため、2000年6月より運転停止中（ONEDからの聴取）。
	40	E35	Gegada	生産井	運転	1994	ステンレス		① 地下水位が計測できない構造となっている。 ② 遊牧民からの破壊行為をよく受ける（ONEDからの聴取）。 ③ 電気系統に故障が多い（ONEDからの聴取）。 ④ ガードマン配置井戸。
	41	E36	Odowwa	生産井	停止	1994	ステンレス		① 水中ポンプ機械系統の故障のため2000年3月にポンプを引き上げ。 ② ガードマン配置井戸。
	42	E38	Loyada	閉鎖					
	43	PK20-1	PK20	生産井	運転	1997	ステンレス		① 地下水位が計測できない構造。 ② 水温が高い以外問題なし。
	44	PK20-2	PK20	閉鎖		1997	ステンレス	更新要請	水中ポンプ引き上げ不能（ONEDからの聴取）。 ② ONEDからのポンプ引き上げ報告書からでは、井戸が曲がっている施工されたように判断され、この曲がっている個所でポンプが留まったものと判断される。
	45	PK20-3	PK20	生産井	運転	1997	ステンレス		2000年8月時点で水中ポンプ検査中。 2001年3月時点で運転中。
	46	PK20-4	PK20	生産井	運転	不明	不明		旧農業省管轄井戸でデータがない以外に問題ない。

表 2.16 既存井の状況 (4/4)

区分	番号	井戸名	地区	現状	運転 状況	建設 年度	スクリー ン及び ケーシング	ONED の要請	備 考
観測井	1	P1	Agadere	閉鎖					
	2	P2	Midgaoune	使用中					
	3	P3	Godchabel	閉鎖					
	4	P4	Naasley	閉鎖					
	5	P5	Atar yer	閉鎖					
	6	P6	Guissi	閉鎖					
	7	P7	Wead	閉鎖					
	8	P8	Guelile	使用中					
	9	P9 (E20)	Douda	使用中					
	10	P10 (E28)	Midgaoune	使用中					
	11	P11	Midgaoune	使用中					
	12	P12	Godchabel	閉鎖					
	13	P13	Moqarrada	閉鎖					
	14	P14	Gegada	使用中					
	15	P15	Awrofoul	閉鎖					
	16	P16	Guedmarre	閉鎖					
	17	P17	Dey-dey	閉鎖					
	18	P20	Odowwa-yar	使用中					
	19	P21	Odawwa-Est	使用中					アクセスが悪いため観測はしていない。

表2.17 井戸取水量の比較

NO.	ONED計画値		調査団			備 考
	水理地質部	技術部	既設流量計 からの 計測値	携行の流量 による 計測値	推定流量	
RG1	12.7	12.7	11.6	7.8	8.0	
RG2	26.3	56.2	52.7	56.9	57.0	
RG3	32.3	32.4	メータ不良	34.6	35.0	
E1	48.0	48.1	メータ不良	-	48.0	電気系統に問題、停止中
E2	34.1	31.6	メータ不良	32.4	32.0	
E3	64.9	60.0	63.8	-	65.0	
E5	31.4	48.4	メータ不良	3.6	4.0	
E6	20.9	20.9	メータ不良	-	21.0	
E7	43.5	37.5	40.0	36.9	37.0	
E9b	38.0	37.4	メータ不良	40.2	40.0	
E11	46.1	44.6	42.8	-	46.0	
E12	31.0	31.0	メータ不良	38.4	38.0	
E13	80.3	81.0	メータ不良	80.7	81.0	
E17	21.0	24.6	メータ不良	-	21.0	ポンプ撤去、スクリーンに問題
E18	86.1	87.4	メータ不良	-	86.0	
E19	84.0	87.6	85.6	-	84.0	
E21	36.6	63.7	メータ不良	-	37.0	
E22	69.1	39.4	メータ不良	-	69.0	
E24	36.4	23.7	37.7	42.8	43.0	
E25	51.4	51.8	メータ不良	52.9	53.0	
E26	88.5	85.3	メータ不良	-	89.0	
E27	134.6	130.0	メータ不良	164.2	164.0	
E29b	71.6	72.0	71.8	75.6	76.0	
E30	90.7	90.8	88.0	-	91.0	
E31	61.3	59.0	62.6	-	61.0	
E33	45.9	49.0	メータ不良	-	45.9	ポンプ落下、停止中
E35	43.8	45.0	メータ不良	-	44.0	
E36	50.0	49.0	メータ不良	-	50.0	ポンプ撤去、停止中
PK20-1	56.4	45.0	55.4	-	56.0	
PK20-2	35.8	45.0	メータ不良	-	35.8	ポンプの問題により停止
PK20-3	22.5	23.0	メータ不良	-	23.0	
PK20-4	66.0	62.0	64.9	-	66.0	
取水量 ($\text{m}^3/\text{時}$)	1,661	1,675			1,707	
取水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	39,868	40,202			40,961	
取水量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	14,551,849	14,673,701			14,950,692	
			運転中井戸の取水量 ($\text{m}^3/\text{年}$)		13,192,560	

2-5-4 導水施設

井戸元から送水ポンプ場までの導水管は総延長約 62km であり、石綿セメント管とグラスファイバー管が利用されている。グラスファイバー管はジブティ系統井戸群の管路の一部に使用されている。

導水管路は Hambouli ポンプ場の着水井～Atar 既存井戸幹線の複線化が進められていたが、完了しておらず、約 2km の予定管路が残されている。本プロジェクトにて新規井戸が内陸部に建設された場合、既設管の内水圧が増大に対し、強度的に耐用できない可能性が生じる。この場合は既存導水管路に減圧施設の設置が必要となる。

表 2.18 既設導水管概要

管 種	管径(mm)	延長(m)
石綿セメント管	φ 80	140
	φ 150	11,840
	φ 200	4,620
	φ 250	3,100
	φ 350	30,400
	φ 500	9,100
	小 計	59,200
グラスファイバー管	φ 500	3,300
合 計		62,500

2-5-5 送水施設

取水井戸より揚水された地下水は、導水管を通じて Hambouli ポンプ場内の着水井に集められる。その後、送水ポンプ施設を通じて配水施設に配られる。Hambouli ポンプ場は 1984 年にフランス国の援助により建設された。主な施設の内容は以下のとおりである。

表 2.19 送水施設内容

施設	規 模	台数	送水区域
着水井	700 m ³	1	
配水タンク	1,200 m ³	3	
送水ポンプ	φ 400 × 750m ³ /時 × 90kw × 31m	2	ジブティ配水区
	φ 400 × 900m ³ /時 × 110kw × 31m	1	"
	φ 250 × 300m ³ /時 × 132kw × 71m	1	Balbala 配水区
	φ 250 × 400m ³ /時 × 110kw × 71m	1	

付帯施設として、消毒施設がポンプ場内のポンプ点検棟に設置され、着水井に集められた地下水に注入されている。残留塩素濃度は 0.3ppm を目標としており、自国産の次亜塩素酸ナトリウムを 4000 ㍲/日使用している。

同ポンプ場の問題点として、水量管理のための計器類がポンプ施設の流入側に設置されておらず、また、送水側の既存流量計が故障しているため、現在の送水量は確認できない

状況にある。この Hambouli ポンプ場は 2000 年秋よりフランス政府の援助により、ポンプや改修工事の実施が予定されており、この改修工事で上記の流入側及び送水側の流量計が設置される予定となっている。

また、配水池はほとんど利用されていないため、送水ポンプもタンク水位を吐き出し高さとした規定の運転はされていない。

2-5-6 配水施設

配水池は表 2.20 に示すとおり市内に 5 ヶ所建設されているが、水需要量に対して送水量が不足しているため、ほとんど利用されていない状況にある。取水された地下水は市内の配水管網に直接送水されている。

表 2.20 ジブティ市内の配水池

配水池名	容量 (m ³)	建設年度	配水区域	備 考
Voirie	1,500 × 1 基	1959	Djibouti 配水区	利用可能
Issa	3,500 × 1 基	1970	"	"
Serpent	2,500 × 1 基	1993	"	"
Salines	2,500 × 1 基	1994	"	"
Balbala	3,900 × 1 基	1997	Balbala 配水区	"
計	13,900m ³			

既設配水管は表 2.21 に示すとおり、総延長は約 149km であり、石綿セメント管が約 95% を占めており、ダクタイル鋳鉄管が 5% を占めている。基本的に配水管網は整備されていない街区が多く、これが、各戸給水契約数が少ない原因になっているものと判断される。

表 2.21 既存配水管内訳

管 種	管径(mm)	配水管延長(m)		合計(m)
		Djibouti 配水区	Balbala 配水区	
石綿セメント管	φ 60	2,570	0	2,570
	φ 80	16,260	5,400	21,660
	φ 100	22,070	6,290	28,360
	φ 150	25,390	8,760	34,150
	φ 200	13,000	2,290	15,290
	φ 250	4,430	2,320	6,750
	φ 300	10,500	500	11,000
	φ 350	9,320	400	9,720
	φ 400	3,790	3,210	7,000
	φ 500	4,400	0	4,400
鋳鉄管	φ 200	1,130	0	1,130
	φ 300	250	0	250
	φ 400	1,000	0	1,000
PVC	φ 63	500	280	780
	φ 110	500	130	630
	φ 160	1,490	2,730	4,220
合 計		116,600	32,310	148,910

また、不明水は下表に示すように増加傾向であり、1999 年度では年間 600 万 m³(市全体の 40%)の給水量が損失しているものと推定されている。しかしながら、過去に漏水調査は行なわれていないことから、不明水の内容については不確定である。基本的に配水管が管網化されていない地域が多いことと仕切弁が機能していないことがフランス国系コンサルタントの調査より確認されており、漏水箇所補修の作業ができない状況にある。

表 2.22 不明水の推移

年	年間生産量 m ³	消費量 m ³	損失量 m ³	損失率 %
1990	11,572,279	9,218,352	2,308,927	20.0
1991	11,118,082	8,477,274	2,640,808	23.8
1992	11,552,664	8,640,881	2,911,783	25.2
1993	11,962,503	8,201,325	3,761,178	31.4
1994	13,137,764	8,643,531	4,503,233	34.3
1995	12,011,981	8,362,608	3,649,373	30.4
1996	12,199,677	8,258,335	3,941,342	32.3
1997	11,653,739	8,717,152	2,936,587	25.2
1998	11,973,552	7,490,704	4,482,848	37.4
1999	13,543,735	7,620,000	5,923,735	43.7

出典：ONED 年報、注：消費量 = 請求量

給水形態は各戸給水と公共水栓に分けられるが、公共水栓は Balbala 地区に限定される。これは地域により住民の所得層が限定されているためである。また、各戸給水契約数から考えると、潜在的には共同水栓(Yard Connection)も存在するものと思われる。

2-6 既存送電施設

2-6-1 給電システム概要

ジブティ系統井戸群と PK20 系統井戸群に対する給電は、基本的にジブティ市内の Boulaos 発電所からの送電により行われている。既存井 RG1～RG3 を除くジブティ系統井戸群へは、Hambouli 送水ポンプ場から約 1.3km 南方に位置する Nagad 変電所を経由して、各井戸元まで送電されている。既存井 RG1～RG3 への給電は、Nagad 変電所の直前で分岐している EDD 管理の一般供用線 20 kV により行われており、PK20 系統井戸群は Boulaos 発電所より Arta 市に送電している Arta 市系統より給電されている(「図 2.5 送電施設概要」参照)。

尚、RG1～RG3 系統並びに PK20 系統を除くジブティ系統井戸群への既存送電系統は、ONED の財産となっており、RG1～RG3 系統並びに PK20 系統は EDD 所有の系統より給電している。維持管理に関して、所有形態に関わらず、中圧線は EDD が管理しており、変圧器より井戸元までの低圧(400V)は ONED の管理区分となっている。

2-6-2 ジブティ井戸群系統

ジブティ井戸群に対する給電は、Hambouli 送水ポンプ場から約 1.3km 南方に位置する Nagad 配電所を経由する 20kV の中電圧の送電線から供給されている。また、Nagad 配電所からは、4 本の中圧線(Nagad 地区井戸群線、 Douda ~ Gegada 間の Damerjog 井戸群線、 Hambouli 川対岸の RG 地区線、 Douda の排水処理場を含む空港線)が分電されている。Damerjog 線は、さらに Douda ~ Atar の線と Atar ~ Gegada の線に分けられる。

表 2.23 ジブティ井戸群系統送電線概要

既存線名		電圧(kV)	線種 (mm ²)	建設年	延長 km
Nagad 線		20	φ 14.4	1967	4.2
Damerjog 線	Douda ~ Atar 線	20	φ 34.4	1974	21
	Atar ~ Gegada 線	20	φ 54.6	1997	13

1997 ~ 1999 年の間に Nagad 線と Damerjog 線では、送電線の事故数が年間 23 ~ 56 件起きており、その内の 52 ~ 79% は原因が判明できないまま自然に回復している(表 2.25 参照)。復旧修理を要した事故回数は、Nagad 線では 8 件/年、Damerjog 線では 3 件/年であり、Nagad 線での事故回数が多い。1 件当たりの回復までに要した時間は Nagad 線では 9.3 時間、Damerjog 線では 7.9 時間と長時間を要している。主な事故原因は次のような現象が挙げられる。

- ・ 碍子取付金具、ボルト等の腐食による折損、脱落による接地事故、線間短絡事故による停電。
- ・ 線路に架空地線の設備がなく、碍子の閃絡防止用にアークホーンが取付けられている箇所があるため、鳥がとまって接地事故となり停電することがある。中圧線路端末の各相に弁抵抗形の避雷器を取付けるべきであるが、近年の工事分は設置されており、多くがこのアークホーンで代用されている。また、避雷器設置個所の接地線盗難が多くあり取付状態は良くない。
- ・ 線路上の適切な位置に区分開閉器が設置されておらず、配電線がセクション化されていない。従って、事故が発生した場合、全線にわたり長時間の停電となるため、既存井戸からの取水に支障を来す。

表 2.24 送電線（Nagad 線、Damerjog 線）の事故発生件数と通電停止時間

送電線路線	内 容	年	1997 年	1998 年	1999 年
Nagad 線	事故発生回数	件	10	6	9
	原因判明までの時間	時間	14.60	17.82	12.17
	修理時間	時間	60.00	48.00	72.00
	合計停止時間	時間	74.60	65.82	84.17
	事故 1 回当たり停止時間	時間	7.46	10.97	9.35
Damerjog 線	事故発生回数	件	5	2	2
	原因判明までの時間	時間	4.93	2.12	14.28
	修理時間	時間	30.00	14.00	16.00
	合計停止時間	時間	34.93	16.12	30.28
	事故 1 回当たり停止時間	時間	6.99	8.06	8.64
事故発生原因 が判明できな かったもの	事故発生回数	件	41	31	12
	自然回復までの時間	時間	32.55	25.40	10.85
	事故 1 回当たり停止時間	時間	0.79	0.82	0.90
事故数合計		件	56	39	23

2-6-3 Nagad 線

1999 年における Nagad 地区井戸群の停電時間の合計は約 95 時間であり、この間、停止時間中の予想取水量は $34,608\text{m}^3$ ($412\text{m}^3/\text{時} \times 95 \text{ 時間}$) と推定され、ジブティ井戸群の年間生産量の 0.30% に相当する。停電による井戸の停止期間は年間に約 11 日、各月に 1 日の通水停止が発生する割合となることになるため、現在のジブティ市の給水状況を考慮すると早急に対処する必要がある。

現在の電線径で 8 井程度の送電線容量は十分に満足できるものであるが、主として送電線の老朽化による問題、既存送電線径の市場性、現在の送電線規格の問題から、安定的な送電を行うためには、送電線の更新が必要と判断される。

既存電柱のうち、鋼製電柱は今後も使用可能な状況にあり、施設の更新は電線及び碍子の全面更新で十分なものと判断される。また、この送電線更新は全面、同時に行なう必要はなく、各年度の段階的更新にて対応可能である。従って、年度別実施計画を立て、ONED 自身で改修計画を実施すべきと考えられる。

現地調査の結果、Nagad 線は各施設ごとに次に示すような問題点が確認された。

表 2.25 Nagad 線各施設の確認事項と問題点

施 設	確認事項と問題点
電線	建設後 30 年を経ており、電線は支持部、耐張部に電線の老朽が確認され、約 20 ヲ所で結線による補修も確認された。使用電線は径 14.4mm ² の裸の硬銅線で、同じ仕様の材料は市中でも入手は不可能である。現在の標準仕様の ACSR (鋼心アルミ綑り線) とに合わず、断線した場合補修が難しく、現在は接続用の専用圧縮スリーブ及び油圧工具がないことから、応急的な接続をしている。強風等により繰り返し横振れを受けると、再び断線する可能性が大きい。ジプティ基準では最低 34.4mm ² であるので、この太さの ACSR に全線に渡り架線変更することが電気の安定供給のため必要である。
電柱	現在使用している電柱は鋼管(丸形及び八角)である。電柱基部の太さは直径 220 ~ 260mm であり、長年経過でサビの発生が確認された。また、電柱基部のコンクリート巻の崩壊、沈下及び土砂流出があり、倒壊の危険性があるものが多い。電柱自体の更新は必要ないと判断されるが、ペンキ塗装による補修、基礎の補強が必要である。
碍子	碍子の金物が錆びて、破損しているものが確認され、また汚れも目立ち、閃電の危険性もある。全体的に耐用限界にあると判断されるため、全体的に交換の必要がある。
変圧器	井戸 E11 の柱上変圧器はラジエターのない旧タイプであり、油漏れとサビ発生が見られ、交換の必要がある。また、E9b、E7 の変圧器に高圧側ブッシング(碍子)の破損、汚れがあり、この変圧器を含めて 3 台の交換の必要がある。変圧器は全般に良い状態だが、サビ、碍子の汚れが目立つため、定期的にさび止め塗装、碍子の清掃を行うことが必要とされる。
避雷器	配電線に架空地線がないので中圧側端末各相に弁抵抗形の避雷器が設置されるべきであるが、その設置箇所数は少ない。避雷時の碍子閃絡防止用にアークホーンが一部の碍子に取付けてあるが、旧式のタイプで、鳥等による一線地絡事故の原因となるので撤去する方が望ましい。アークホーンは全て撤去し、架線の末端部の各相に弁抵抗形の避雷器を設置すべきである。
線路開閉器	幹線及び分岐線に計 9 台の開閉器が設置されているが、4 台が故障している。開閉器は各井戸元への分岐部及び幹線延長が長い場合、保守点検上、幹線の途中に設置が必要とされたため、これら 4 台の交換が必要である。また、現在設置されている 9 台のうち操作機構の故障は各開閉器に共通して見られ、修理が必要である。これは可動部のボルト盗難等によって操作不可能になっているものが多いが、修理可能である。
接地線	電柱に設置されている種々の電気品、接地線が電柱に沿って地中接地極まで配線されているが、この配線(14mm ² 裸銅線)がほとんど地上 2 ~ 2.5m の所まで盗まれている。現地住民による盗難であることは切断口により判断できるが、接地線は電気設備上、非常に重要なものなので、地上 2.5 ~ 3m を鉄製パイプ等で保護し簡単に盗難できないようにすべきである。

表 2.26 既存取水井戸の電気施設状況

井戸番号	変圧器	避雷器
E2	使用可能	不良
E5	使用可能	不良
E6	使用可能	不良
E7	不良	不良
E8	使用可能	不良
E9b	不良	不良
E11	不良	不良
E13	使用可能	不良

2-6-4 Damerjog 線

送電施設は Douda ~ Atar 線と Atar ~ Gegada 線に分かれている。近年に建設された Atar ~ Gegada 線については、全く問題ないと判断され、また、Douda ~ Atar 線についても建設後 26 年が経っているものの、良い管理状態が保たれている。

表 2.27 Damerjog 線各施設の確認事項と問題点

施 設	確認事項と問題点
電線	電線は 34.4mm ² で数箇所において、断線後に結線したと思われる個所がある。
電柱	鋼管及び木柱（クレオソート柱）であるが、良好な状態にある。
避雷器	既存井 E30、E31、E33、E35、E36 に弁抵抗形の避雷器が設置されているが、他の 19 箇所の既存井はアークホーンであるため、これらアークホーンの更新が必要である。
線路開閉器	ワジ Atar の横断箇所手前に設けられた路線開閉器 1 箇所は故障しているため更新が必要とされる。管理面を考慮すると、Damerjog 線については路線が長いので、3 ヵ所に開閉器の設置が望まれる。EDD では無線システムによる遠隔操作が可能な自動開閉器を希望しているが、ジブティ井戸群において、無線を使用したポンプの遠隔制御システムが回路の故障から設置後 4 年で機能しなくなったことを考慮すると現実的ではないと判断される。

2-6-5 RG1、RG2、RG3 線

RG1、RG2、RG3 の井戸に対する給電は、Nagad 配電所から EDD 管理の一般供用線 20kV から供給され、電力使用量は Nagad 配電所にて検針している。この線は鉄道を横断した後、川幅約 300m の Hambouli ワジを横断して、民間の廃棄物処理会社、砕石会社、RG1、RG2、RG3 の井戸等に送電している。

既存井戸 RG1、RG2、RG3 は、1 つの変圧器にて 400V に変圧され、各井戸に送電されている。低圧送電線の維持管理状態は悪く、電線が地面に垂れ下がった個所が確認された。また、Hambouli ワジの右岸では送電線は河岸沿いに南方に延び E30 に至っている。この地域は近年まで無分別に行なわれた砂利材採取により、河床の荒廃を招いた。既存井戸 E12 建屋近くまで河床が迫ってきたため、この地域における砂利採取は禁止されている。

基本的にこの系統は、一部送電線の維持管理が悪い状況が確認されているが、特に施設に影響を与えるような老朽度や事故は確認されていないことから、施設更新の必要はないと判断される。また、維持管理の悪い状況は、年間の維持管理費用内で実施可能と判断される。

2-6-6 PK20 井戸群系統

PK20 井戸群に対する送電線はジブティ市から Arta に向かう新旧の送電幹線より、分岐しており、PK20-1 及び PK20-3 は新線、PK20-4 は旧線より分岐している。新規井戸の対象となっている F10b、F9b 及び F3b は、既存の PK20-4 の送電線を利用することができるが、F10b、F3b については、支線を延長する必要があるため、F9b への既存送電施設の端末に変圧器が設置されていないため、新規変圧器の設置が必要となる。

表 2.28 PK20 送電施設概要

既存線名	電圧 kV	線種 mm ²	建設年
PK20 支線	20	φ 34.4	1987

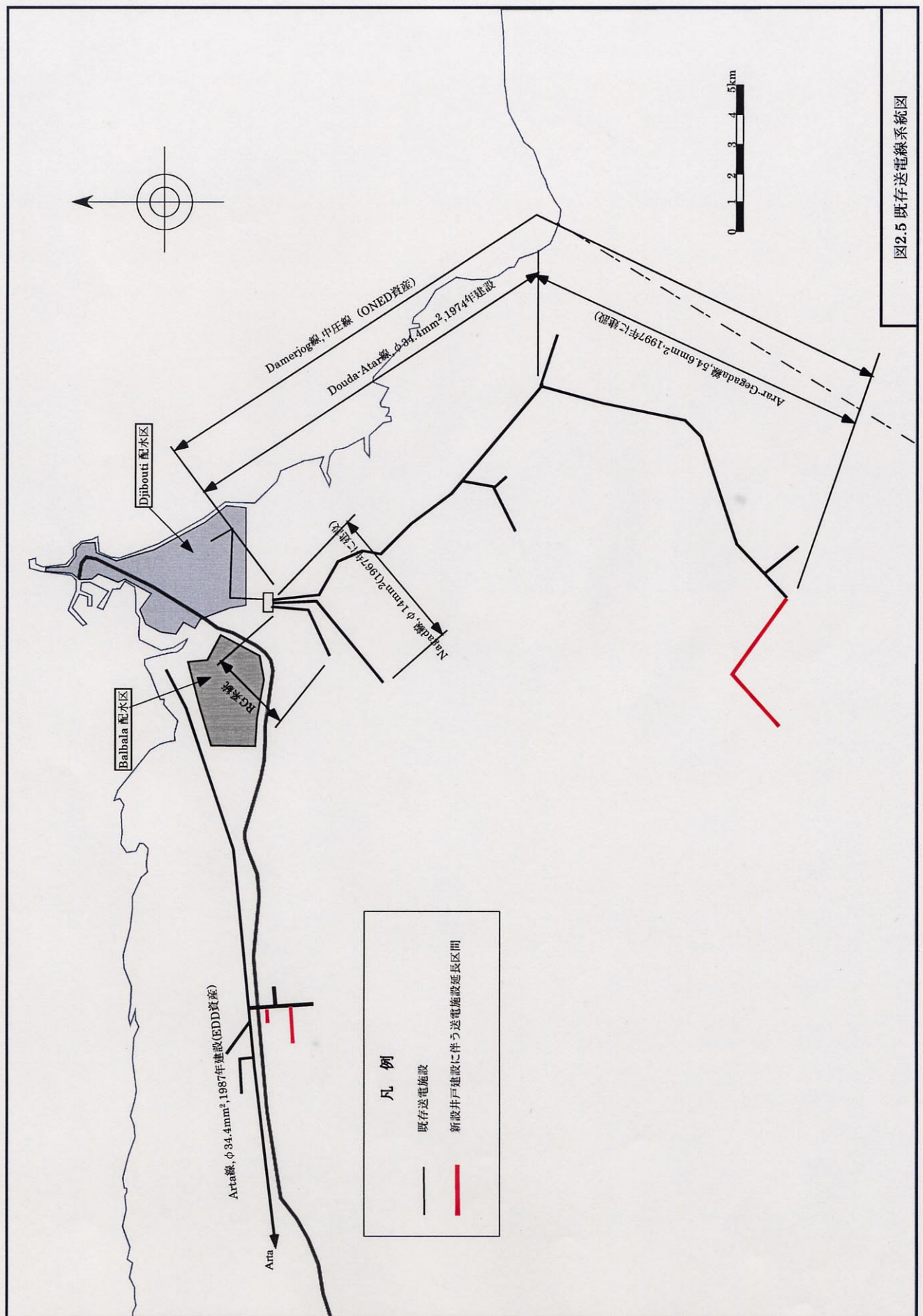
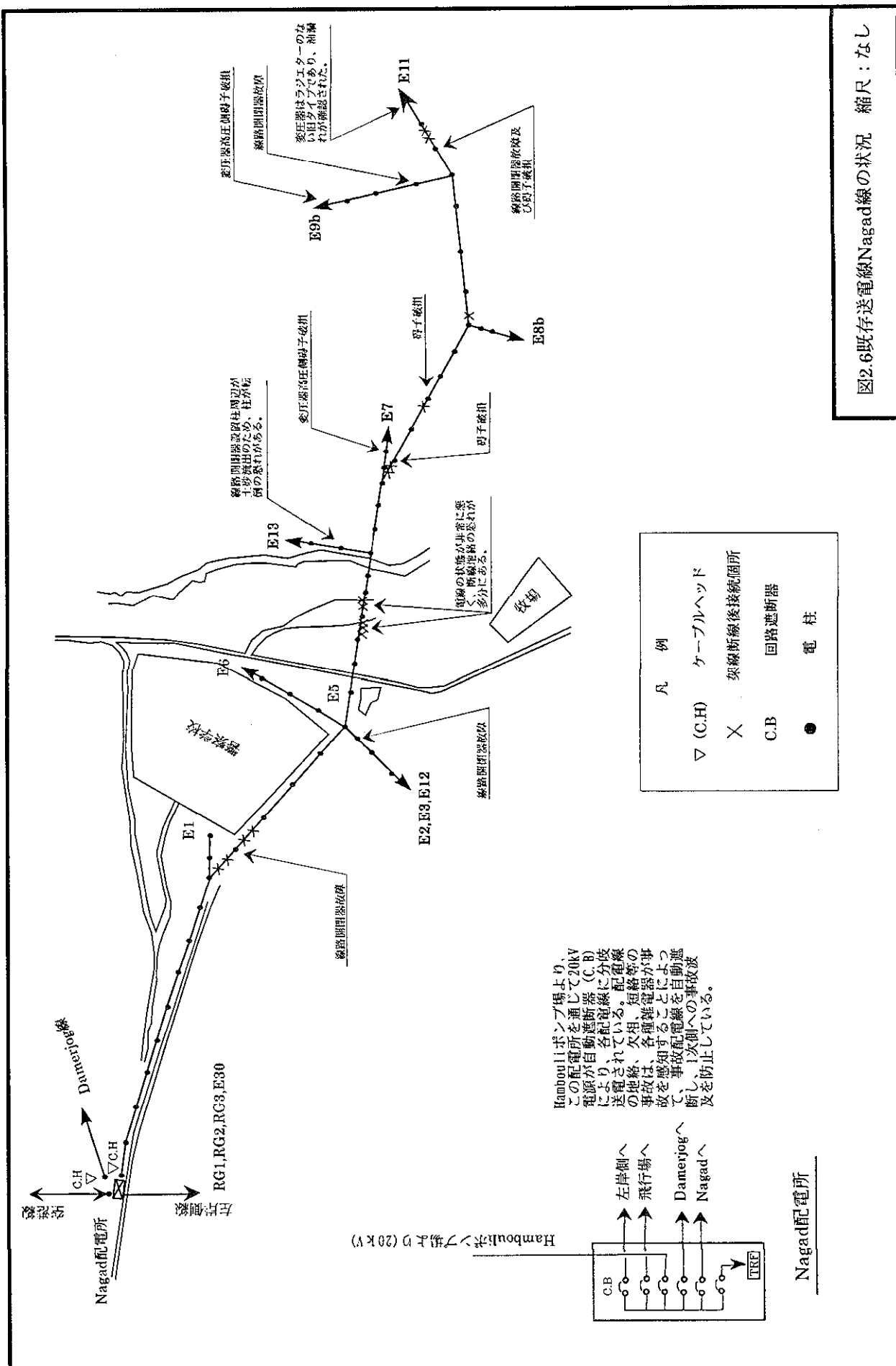


図2.5 既存送電線系統図



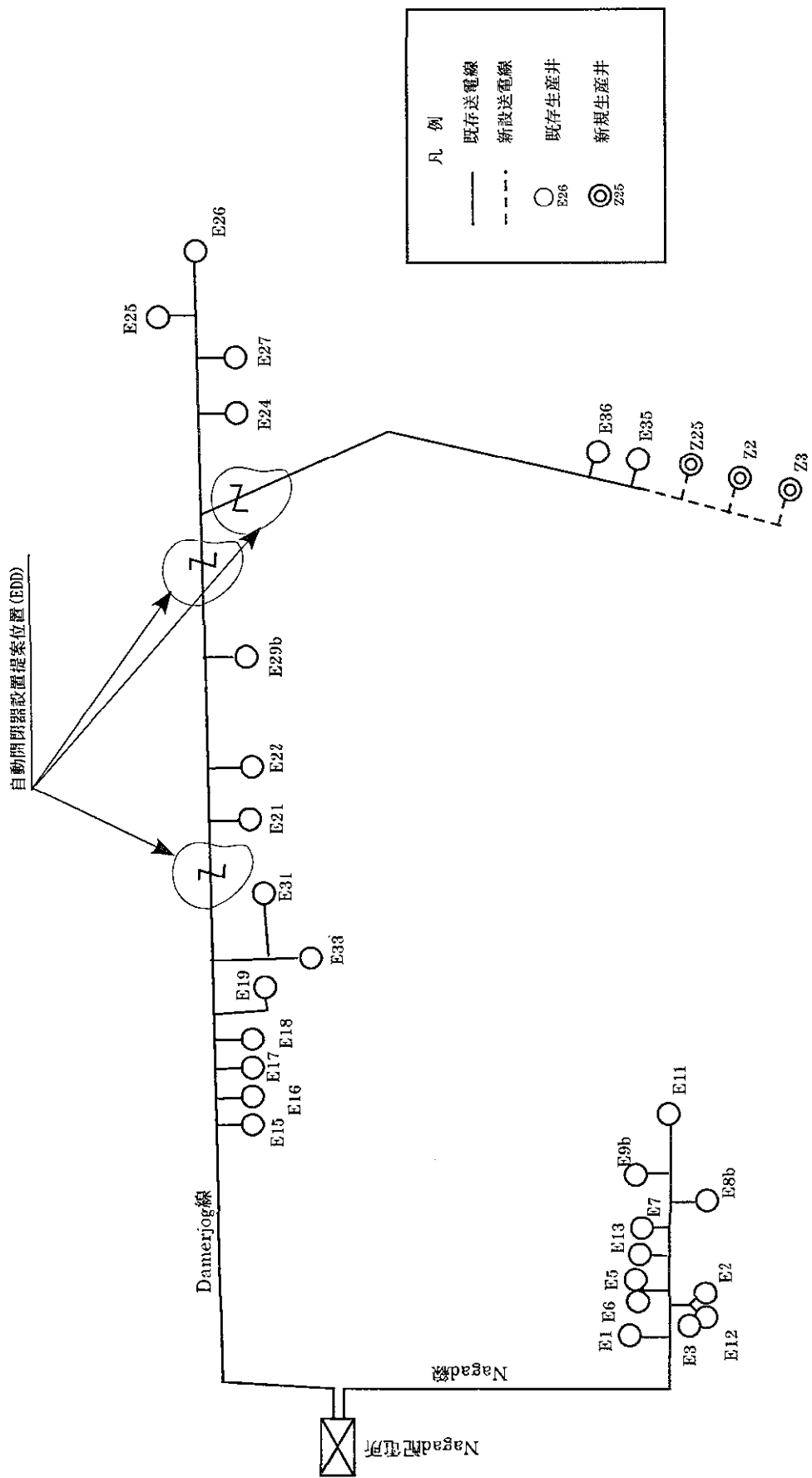


図2.7 既存送電線Damerjog線及びNagad線模式図
縮尺:なし

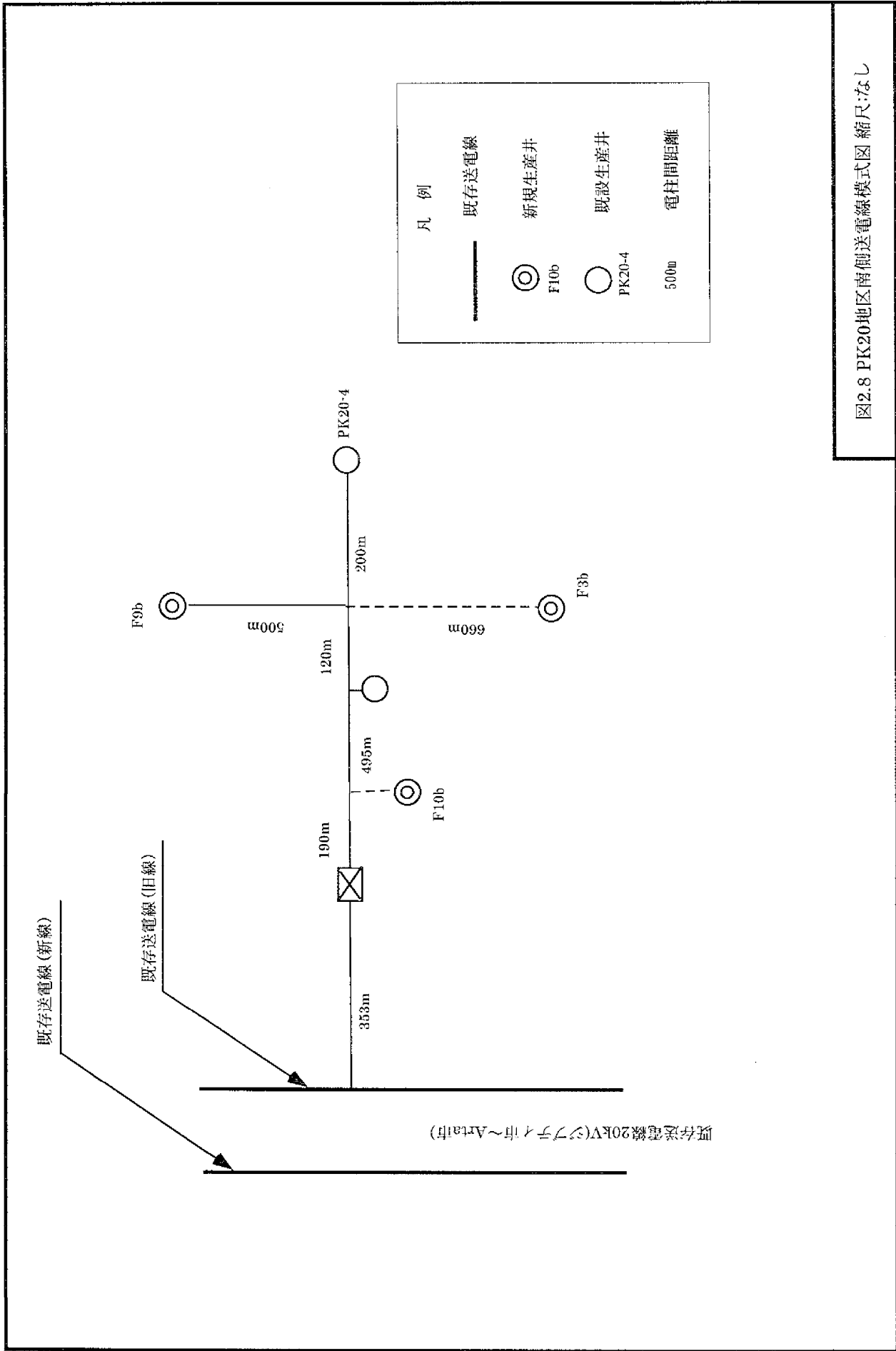


図2.8 PK20地区南側送電線模式図 縮尺:なし

2-7 既存井戸の水質状況

2-7-1 水質調査結果概要

既存生産井 32 井のうち、採水可能な 27 井、Hambouli 送水ポンプ場着水井並びに Balbala 配水池を対象として水質分析を行った。水質分析は簡易水質分析とジプティ国内の研究機関である ISERST への委託分析にて行った。尚、砒素を簡易水質試験により WHO ガイドライン値内にあることを確認したが、日本国内における試験機関にて再分析を行なった。水質分析結果の概要を表 2.29 に示し、水質分析詳細結果を表 2.30 に示す。

表 2.29 調査対象地域の水質的特徴

分析項目	各項目の特徴
水温	既存生産井 27 井の水温は 36～47 の範囲にあり、平均 40 の高温値を示している。特に PK20 地区の水温は高く 43 以上の高温である。
pH	pH 値は 7.38～8.29 の範囲にあり、平均値 7.66 である。WHO のガイドラインには規定はないが、日本国水道水質基準と比較した場合、基準値の範囲内にある。
電気伝導度 (EC)	電気伝導度は 20 基準で見た場合、1111 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ～4140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ までの広がりがあり、平均値は 2710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と非常に高い傾向を示している（市内で購入したミネラルウォーターの EC 値は 394 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25 基準）であった）。 地区別では、Nagad、Douda、Atar 地区の井戸で 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を越す井戸が多い。
塩素イオン	塩素イオンは塩化物中の塩素分であり、分析結果は 213 mg/L ～1259 mg/L の範囲にある。27 井戸の平均値は 749 mg/L であり、日本の水質基準値(200 mg/L)の約 3.7 倍を示す。尚、塩素イオンが 250 mg/L を超えると塩味を感じる。
全溶解性物質 (TDS)	溶解性物質は水に溶けている無機の塩類と少量の有機物の量であり、主なイオンは炭酸塩、塩化物、硫化物、硝酸塩、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムである。分析結果は 780 mg/L ～2592 mg/L までの範囲にあり、平均は 1702 mg/L であった。 TDS の摂取が健康に悪影響を及ぼすデータは見当たらないが、濃度の違いが味覚に反映し、WHO ガイドラインでは、TDS 900 mg/L を可としており、900<TDS<1200 mg/L を劣、TDS>1200 mg/L を不可としている。尚、27 検体のうち、22 検体が TDS 1200 mg/L を超えている。 TDS 濃度が 500 mg/L 以上の水は配水管や給水管内部にスケールを付着させる傾向がある。
アンモニウムイオン	運転停止中であった E17 と PK20-3 で各々 0.7 mg/L 、0.1 mg/L と確認された以外は検出されず、肥料・尿尿などによる水の汚染はないと判断される。
硝酸イオン、亜硝酸性イオン	全体的には 19～69 mg/L の範囲にあり、PK20-4 以外は WHO ガイドライン値の合計値 53 mg/L 以内であるため、今のところには問題はないと考えられる。 PK20-4 にて 69 mg/L が確認されたが、現在使用されていない実験農場が周辺に位置しているため、水質モニタリングする必要がある。
全硬度	27 井における全硬度は 300 mg/L ～1550 mg/L の範囲にあり、平均は 835 mg/L であった WHO ガイドラインでは「非常な硬水（180 mg/L 以上）」に分類される。 200 mg/L 以上の水はスケールを付着させる傾向がある。
アルカリ度	アルカリ度は 150～300 mg/L の範囲にあり、平均は 251 mg/L と高い値を示している（地下水は一般的にアルカリ度が 30～80 mg/L である）。
フッ素	27 井の値は E9b の 0.13 mg/L から E35 の 0.99 mg/L までの広がりがあり、平均は 0.57 mg/L であった。WHO ガイドライン値（1.5 mg/L ）内であり特に問題はない。
砒素	Hambouli ポンプ場着水井及び Balbala 配水タンクからの 2 検体について、日本国内の試験機関での分析結果では、両検体とも 0.005 mg/L 未満（検出限界）であり、その含有は認められなかった。
硫化水素	全検体について認められなかった。
鉄、マンガン	全検体について認められなかった。
ナトリウムイオン	ナトリウムはナトリウム塩として、水に存在しており、水中への由来は海水の侵入、風送塩の混入とされている。試験結果では、ナトリウムイオン値は 146 mg/L ～575 mg/L の範囲にあり、平均は 387 mg/L であった。 ナトリウムは 200 mg/L 以上の濃度で味覚に影響し、WHO ガイドラインでは目標値として 200 mg/L としている。
硫酸イオン	硫酸イオン値は 71 mg/L ～235 mg/L の範囲にあり、平均は 141 mg/L である。本地区の地下水は全てガイドライン値(250 mg/L)以内にある。

表2.30 調査対象地域水質分析結果(1/2)

	水質試験項目	実施方法	単位	WHOガイドライン	日本国水質基準	RG1	RG2	RG3	E2	E3	E5	E6	E7	E9b	E11	E12	E13	E17	E18	E19	E21	E24
1	水温	携行機器		-	-	41.5	41.9	41.9	38.8	38.0	39.1	38.0	38.9	39.6	40.9	40.6	38.1	39.8	38.1	37.8	38.2	38.1
2	pH	携行機器		-	5.8-8.6	7.70	7.78	7.70	7.74	7.51	7.78	7.73	7.59	7.45	7.38	7.68	7.90	7.88	7.53	7.44	7.58	7.59
3	電気伝導率(EC20)	ISERST委託	μs/cm	-	-	3,270	2,970	3,100	2,710	4,140	1,842	2,760	2,260	2,390	2,990	3,450	2,870	3,300	3,530	3,250	2,610	4,090
4	全溶解性物質(TDS)	ISERST委託	mg/ℓ		-	1,999	1,883	2,033	1,629	2,578	1,252	1,765	1,420	1,348	1,842	2,066	1,759	1,889	2,269	2,062	1,638	2,592
5	塩素イオン(Cl ⁻)	ISERST委託	mg/ℓ	250 ¹	200	986	827	909	732	1241	455	754	573	639	816	1000	804	945	1063	972	682	1259
6	アンモニアイオン(NH ₄ ⁺)	携行機器	mg/ℓ	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
7	硝酸イオン(NO ₃ ⁻)	ISERST委託	mg/ℓ	50	-	42	47	50	25	43	53	36	37	33	33	41	35	1	40	20	43	19
8	亜硝酸イオン(NO ₂ ⁻)	携行機器	mg/ℓ	3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9	加減硬度(CaCO ₃)	携行機器	mg/ℓ	-	300	500	400	450	450	450	300	450	400	350	500	500	500	400	450	450	400	650
10	全硬度(TH)CaCO ₃	携行機器	mg/ℓ	-	300	1,200	900	900	950	1,200	550	800	600	650	900	950	950	1,000	850	1,000	800	1,550
11	総アルカリ度(AL)	携行機器	mg/ℓ	-	-	150	225	200	200	185	250	250	270	250	250	205	230	250	250	300	250	250
12	溶存酸素(DO)	携行機器	mg/ℓ	-	-	4.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	3.0	4.0	4.0	5.0	4.0
13	硫化水素(H ₂ S)	携行機器	mg/ℓ	0.05	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	2価鉄(Fe ²⁺)	携行機器	mg/ℓ	0.3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	全鉄(Fe)	携行機器	mg/ℓ	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	マンガン(Mn)	携行機器	mg/ℓ	0.1	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	シリカ(SiO ₂)	ISERST委託	mg/ℓ	-	-	65	85	86	80	80	84	82	80	88	95	78	85	56	96	97	85	83
18	砒素(As)	国内委託	mg/ℓ	0.01	0.01																	
19	フッ素(F)	ISERST委託	mg/ℓ	1.5	0.8	0.76	0.60	0.67	0.47	0.38	0.47	0.42	0.24	0.13	0.24	0.27	0.19	0.27	0.95	0.95	0.38	0.95
20	ナトリウムイオン(Na ⁺)	ISERST委託	mg/ℓ	200 ^{※2}	200	467	467	467	338	575	299	402	338	338	420	460	402	402	575	529	343	532
21	カリウムイオン(K ⁺)	ISERST委託	mg/ℓ			19	19	22	16	25	13	16	16	19	22	16	19	27	32	16	22	27
22	カルシウムイオン(Ca ²⁺)	ISERST委託	mg/ℓ			131	105	133	113	172	105	104	100	93	119	146	120	106	141	111	105	186
23	マグネシウムイオン(Mg ²⁺)	ISERST委託	mg/ℓ			86	73	56	75	121	27	75	46	47	67	88	75	84	77	79	70	137
24	重炭酸イオン(HCO ₃ ⁻)	ISERST委託	mg/ℓ			133	184	235	174	163	193	202	192	70	188	154	177	170	195	198	187	273
25	硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	ISERST委託	mg/ℓ	250	-	135	160	161	157	239	107	175	118	110	177	162	128	153	146	136	185	159
26	一般細菌	携行機器		-	100ml以下	-	-	+	+	++	-	-	+	++	++	+	+	++	+	+	+	+
27	大腸菌	携行機器		0/100ml	0	-	+	+	+	++	-	-	++	++	++	++	+	++	-	++	+	++
28	全溶存塩分		mg/ℓ			1,957	1,835	1,983	1,605	2,536	1,199	1,728	1,383	1,316	1,809	2,026	1,725	1,887	2,229	2,041	1,594	2,573

※1:塩化物としての目標値

※2:目標値

表2.30 調査対象地域水質分析結果(2/2)

	水質試験項目	実施方法	単位	WHOガイドライン	日本国水質基準	E25	E26	E27	E29b	E30	E31	E35	PK20-1	PK20-3	PK20-4	HOTEL	ミナモトウォーター	Ambouli 送水場	Balbala 旧タンク	Balbala 新タンク	Balbala 共同栓1	Balbala 共同栓2	27井戸の平均値
1	水温	携行機器		-	-	38.7	36.7	38.3	38.8	44.1	37.1	40.8	47.5	44.0	43.7	32.6	20.0	38.7	39.5	34.4	41.1	38.6	15.2
2	pH	携行機器		-	5.8-8.6	7.62	7.50	7.53	7.65	7.55	7.76	7.78	7.59	8.29	7.72	7.92	7.86	7.82	7.66	8.07	8.25	7.99	2.85
3	電気伝導率 (EC20)	ISERST委託	μ s/cm	-	-	3,460	3,440	3,380	2,000	1,822	2,360	1,296	1,111	1,320	1,450								801
4	全溶解性物質 (TDS)	ISERST委託	mg/l		-	2,242	2,128	2,065	1,276	1,186	1,419	900	780	945	977								515
5	塩素イオン (Cl-)	ISERST委託	mg/l	250 1	200	995	982	977	531	468	618	250	213	250	275								206
6	アンモニウムイオン (NH4 +)	携行機器	mg/l	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	
7	硝酸イオン (NO3 -)	ISERST委託	mg/l	50	-	25	20	22	25	29	42	37	48	51	69								13.6
8	亜硝酸イオン (NO2 -)	携行機器	mg/l	3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	
9	カルシウム硬度 (CaCo3)	携行機器	mg/l	-	300	450	600	500	300	250	300	150	150	125	250	350	30	350					114
10	全硬度 (TH) CaCo3	携行機器	mg/l	-	300	1,250	1,000	1,300	700	400	700	300	300	300	550	700	110	850					252
11	総アルカリ度 (AL)	携行機器	mg/l	-	-	350	300	300	265	250	250	300	300	250	245	250	55	250					104
12	溶存酸素 (DO)	携行機器	mg/l	-	-	4.0	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	6.0	4.0					1.7
13	酸化水素 (H2 S)	携行機器	mg/l	0.05	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	
14	2価鉄 (Fe2 +)	携行機器	mg/l	0.3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	
15	全鉄 (Fe)	携行機器	mg/l	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	
16	マンガン (Mn)	携行機器	mg/l	0.1	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	
17	シリカ(SiO2)	ISERST委託	mg/l	-	-	89	88	79	94	102	85	89	68	65	72								31
18	砒素 (As)	国内委託	mg/l	0.01	0.01													0.005未満	0.005未満				0.0
19	フッ素 (F)	ISERST委託	mg/l	1.5	0.8	0.75	0.76	0.34	0.75	0.99	0.95	0.99	0.60	0.19	0.85							0.27	
20	ナトリウムイオン (Na+)	ISERST委託	mg/l	200※2	200	575	467	437	287	338	267	191	168	222	146								115
21	カリウムイオン (K+)	ISERST委託	mg/l			27	27	23	16	19	25	25	8	8	11								7
22	カルシウムイオン (Ca2+)	ISERST委託	mg/l			148	148	154	80	55	79	36	46	54	80								33
23	マグネシウムイオン (Mg2+)	ISERST委託	mg/l			83	97	114	64	27	66	26	21	29	40								21
24	重炭酸イオン (HCO3 -)	ISERST委託	mg/l			238	242	187	190	178	196	246	205	213	177								77
25	硫酸イオン (SO4 2-)	ISERST委託	mg/l	250	-	152	145	151	83	72	126	89	72	119	179								44
26	一般細菌	携行機器		-	100ml以下	+	+	+	+	+	+	-	-	++	+	-	-	+					
27	大腸菌	携行機器		0/100ml	0	+	-	++	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-					
28	全溶存塩分		mg/l※2			2,218	2,108	2,043	1,251	1,157	1,377	863	733	895	908								

※1:塩化物としての目標値

※2:目標値

2-7-2 水理地質からみた地下水の水質

(1) 水質分析精度の検証

水質区分を確認する前に、水質試験結果をもとに、各井戸の陽イオンと陰イオンの当量和を比較した結果、各井戸の結果はほぼ一致しているため、水質分析は正しく測定されたものと判断された。次に代表的な比較結果として既存井 E2、E21 並びに PK20-1 の比較値を示す。

表 2.31 陽イオンと陰イオンの当量和の比較

井戸	陽イオン(epm)		陰イオン(epm)	
E2	Na ⁺	14.703	Cl ⁻	20.642
	Ca ²⁺	5.639	SO ₄ ²⁻	3.269
	Mg ²⁺	6.168	HCO ₃ ⁻	2.852
	K ⁺	0.409		
	Σ +26.919		Σ +26.763	
E21	Na ⁺	14.921	Cl ⁻	19.232
	Ca ²⁺	5.240	SO ₄ ²⁻	3.852
	Mg ²⁺	5.757	HCO ₃ ⁻	3.065
	K ⁺	0.563		
	Σ +26.481		Σ +26.149	
PK20-1	Na ⁺	7.308	Cl ⁻	6.007
	Ca ²⁺	2.295	SO ₄ ²⁻	1.499
	Mg ²⁺	1.727	HCO ₃ ⁻	3.360
	K ⁺	0.205		
	Σ +11.535		Σ +10.866	

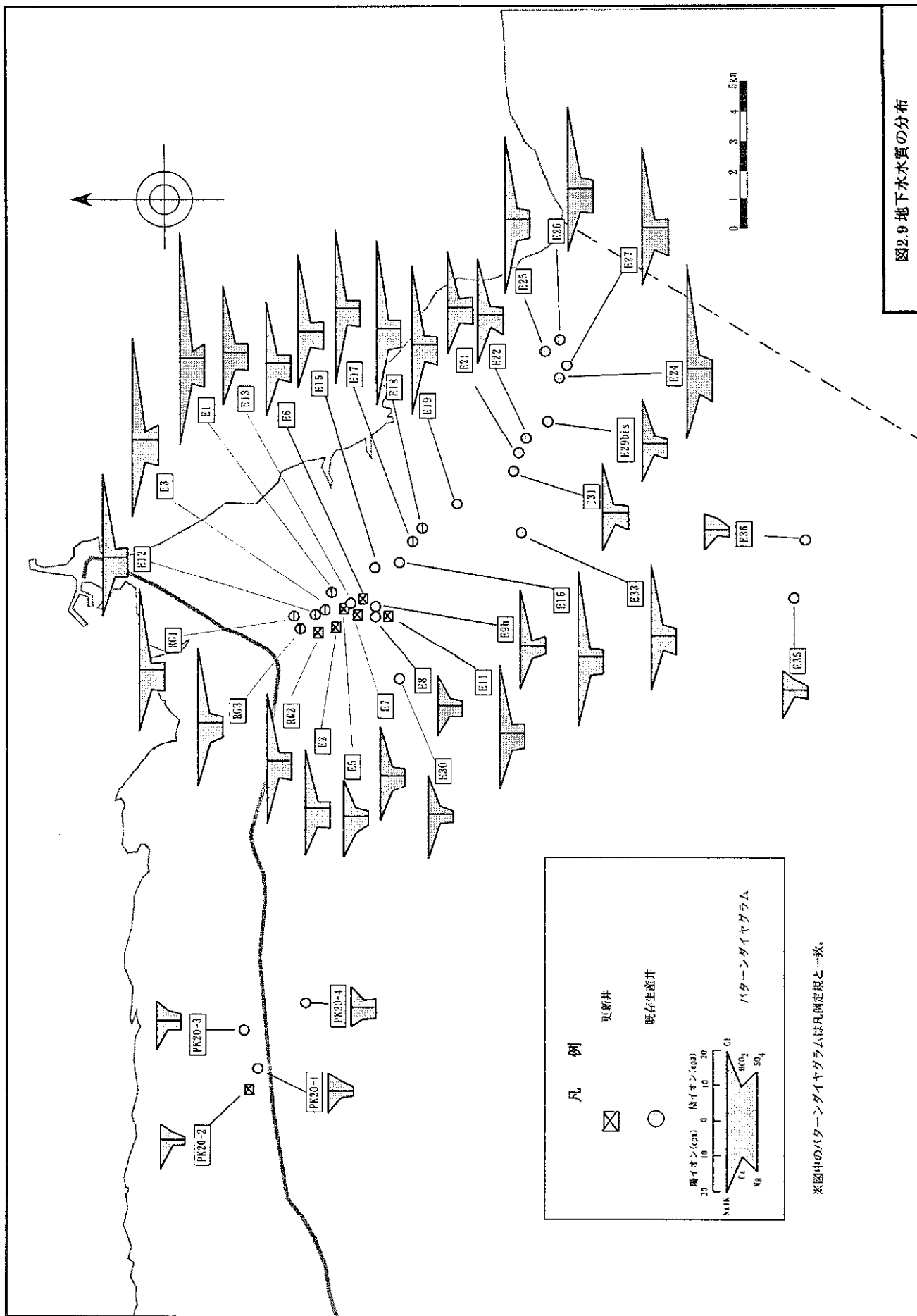
(2) 地下水の濃度からの水質区分

水質分析結果から得られた主要イオンの計測値をイオン濃度に変換し、パターンダイヤグラムを作成した。また、各既存井のパターンダイヤグラムを既存井戸位置に記し、図 2.9 に示した。

図 2.9 に示すとおり、ジブティ帯水層(Nappe de Djibouti))は基本的に Na-Cl 型の地下水であることが確認された。沿岸部では内陸部と比較して、著しく Na-Cl に富んでいることが確認され、海水の影響を受けているものと推定される。

(3) 地下水の組成からの水質区分

上記のパターンダイヤグラムに加え、水質分析結果をもとに、図 2.10 に示すパイパーダイヤグラム (Piper Trilinear Diagram) を作成した。同ダイヤグラムのキーダイヤグラムから、全ての既存生産井は : アルカリ土類非炭酸塩(NaSO₄型または NaCl 型)の領域に属している。また、組成を明らかにするため、陰イオンについて着目すると、NaCl 型と HCO₃ 型と NaCl 型の水が混合したものに区分されること確認された。



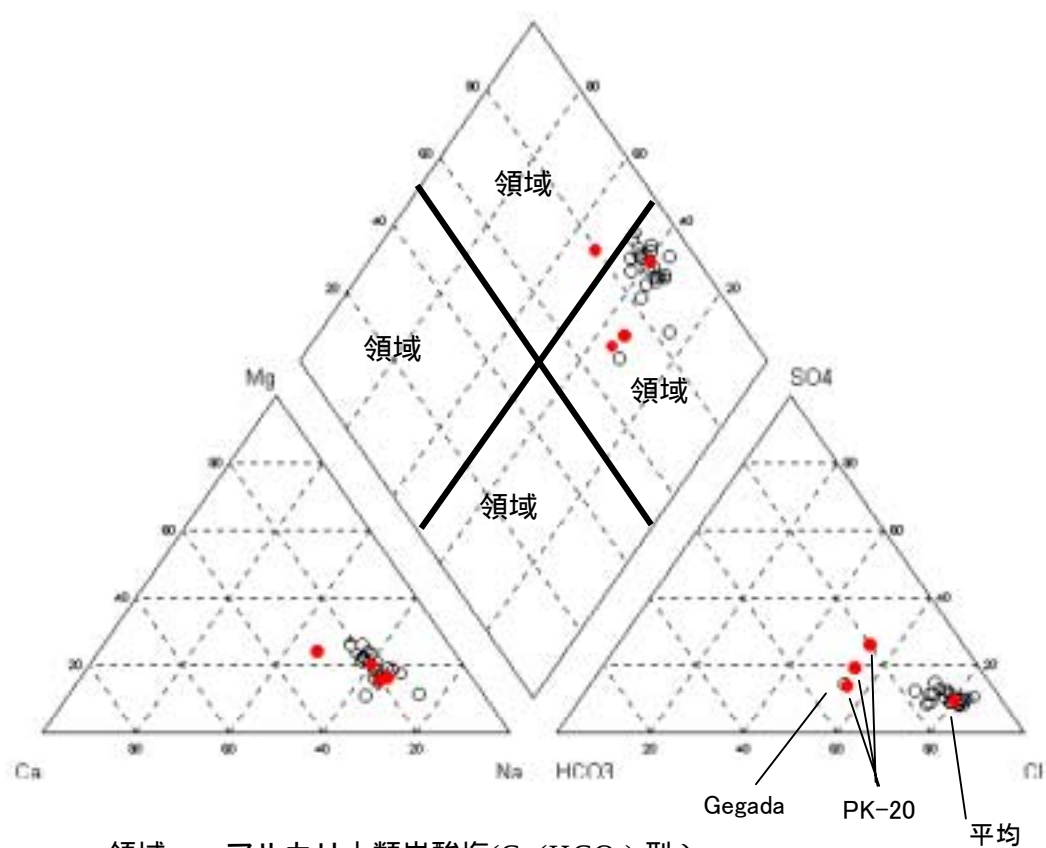


図2.10 パイパー・ダイヤグラム

(4) 水質形成過程

前述のパターンダイヤグラム並びにパイパーダイヤグラムより、ジブティ帯水層には NaCl 型地下水と HCO_3 型と NaCl 型の混合型地下水の 2 種類が存在しているものと判断される。また、沿岸部の Nagad 地区既存井 E8 のパターンダイヤグラムは周辺の既存井戸とは違う傾向を示しており、内陸部既存井のパターンダイヤグラムに近い傾向を示している。特に Nagad 地区は生産井が集中し、群井をなしていることから、沿岸地区の地下水はその濃度より海水起源と考えられる。

従って、沿岸地区の水質は内陸部と同様な HCO_3 型と NaCl 型の水であったが、沿岸部では地下深部の NaCl 型の水が上昇し、 HCO_3 型と NaCl 型の水と混合した結果、形成されたものと考えられる。

2-7-3 沿岸地域既存井の水質変化傾向

既存井試料の水質分析結果より、WHO ガイドラインにおいて健康に著しく影響を与える項目は確認されなかったが、塩素イオン、TDS、ナトリウム等の味覚に作用する項目に関して同ガイドラインの提唱値を大幅に上回っていることが確認された。地区的には Gegada 地区や PK20 地区のような内陸部の地下水は提唱値を下回っているが、沿岸地域の地下水は大幅に上回っている。

水理地質的水質区分では、ジブティ帯水層の地下水は NaCl 型の区分に属しており、沿岸部地下水の水質組成からも海水の影響による塩水化が進行しているものと考えられる。水質分析項目の TDS は無機の塩類と少量の有機物から構成される溶解性物質であり、味覚のみならずその数値から塩水化の進行傾向も確認できる。今回の水質分析結果と過去の水質データベースより沿岸地域既存井戸の TDS の経年的上昇傾向を求めると、図 2.11 に示すような傾向となっている。

各地区とも時間の経過と全溶存塩分はリニアな関係にあるものと確認され、Nagad 地区の海岸部、Douda 地区、Atar 地区は時間の経過とともに上昇を続けている。Nagad 地区で約 $15\text{mg}/\text{リットル}/\text{年}$ 、Douda 地区で $10\text{mg}/\text{リットル}/\text{年}$ 、Damerjog 地区で約 $9\text{mg}/\text{リットル}/\text{年}$ 、Atar 地区で約 $41\text{mg}/\text{リットル}/\text{年}$ という上昇傾向となっている。

Nagad、Douda 及び Atar 地区の地下水は現在の TDS 値が約 $2000\text{mg}/\text{リットル}$ であることから、飲用に不快的な状況となっている。また、この傾向は今後も継続し、2010 年には Nagad 及び Douda 地区地下水の TDS 値は $2015\text{mg}/\text{リットル}$ まで上昇し、Atar 地区は約 $2500\text{mg}/\text{リットル}$ まで上昇するものと予測される。Damerjog 地区は上昇率が Nagad、Douda 及び Atar 地区に較べて、緩やかであり、TDS 値は現在、約 $1500\text{mg}/\text{リットル}$ であり、2010 年には $1600\text{mg}/\text{リットル}$ まで上昇するものと推定される。TDS 値の上昇はジブティ帯水層の塩水化が今後も進行しつづけることであるから、ジブティ帯水層の保全の観点から既存井の利用を考えることし、

その結果を表 2.32 に示した。

図2.11 地区別地下水TDS値の上昇傾向

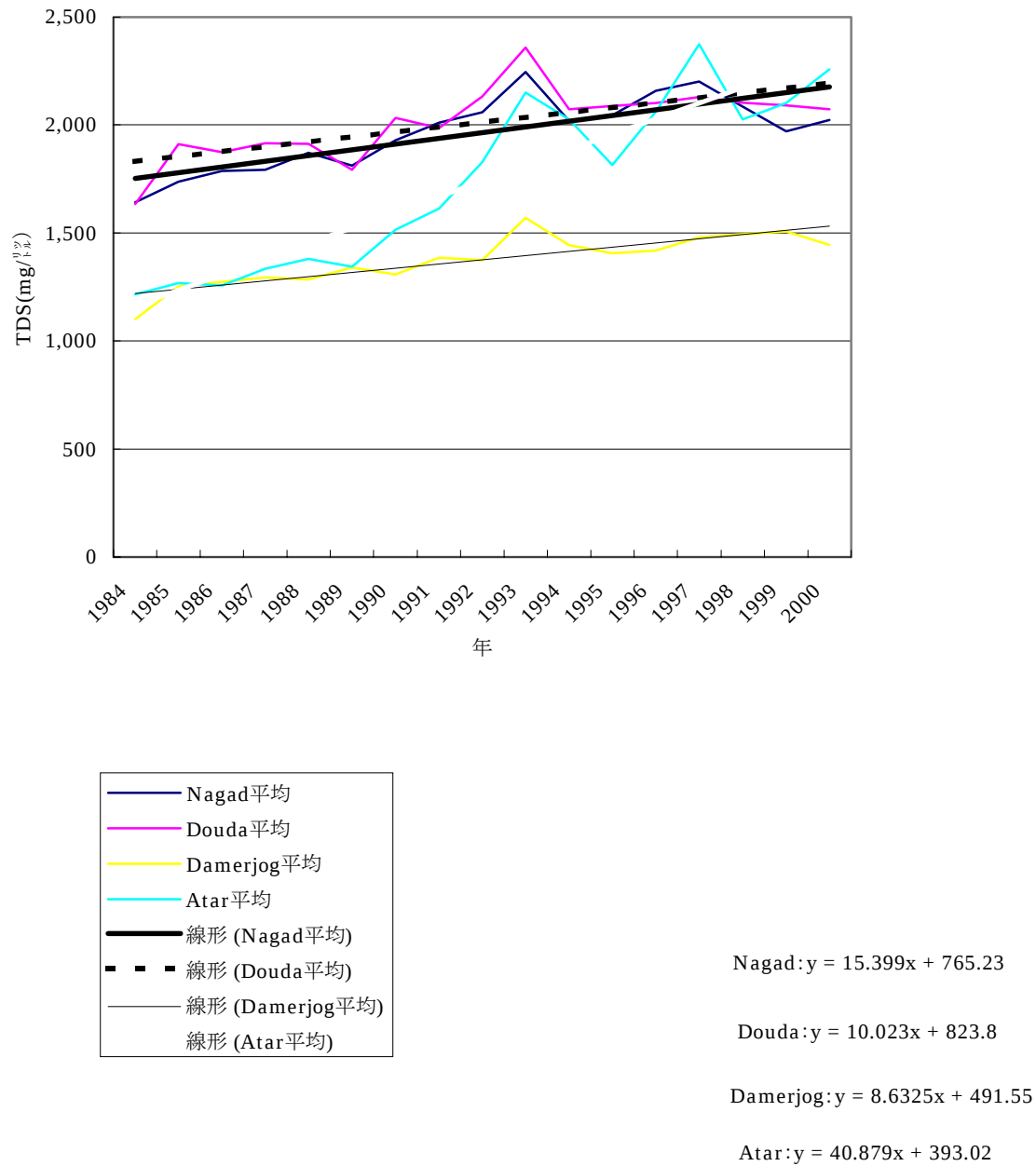


表 2.32 塩水化状況からの既存井の利用(1/2)

井戸 番号	全溶存 塩分 (mg/ℓ)	TDS (mg/ℓ)	状 況	ONED 要請	評価
RG1	1957	1999	TDS は 1980 年代から徐々に増加傾向を示しており、現在は、約 2000mg/ℓであり、塩水化進行中と考えられる。尚、1995 年より取水量は漸次減少している(1995 年 18m ³ /時→2000 年 12m ³ /時)ものの、TDS は増加傾向となっている。生産停止により、急激には TDS の回復は見込めないもの判断されるため、井戸は閉鎖すべきと考える。		閉鎖
RG2	1835	1882	TDS は約 20 年の間に徐々に増加しており、ここ 5 年間は約 1800mg/ℓ程度で安定していた。TDS が減少した時期は取水量が極端に減少しており、取水量と TDS に相関関係が見られることから、現在の揚水量 57m ³ /時より、35m ³ /時程度までに抑えるべきと判断する。	更新	揚水量調整による利用 (35m ³ /時)
RG3	1983	2033	TDS は 1995 年までは約 1800mg/ℓ程度で平衡状態にあったが、1997 年から増加傾向にある。取水量は 1994 年から 35～32m ³ /時程度であるが、TDS は増加しつつあり、取水量を減少させるべきである。		揚水量調整による利用
E 1	2909 (1999 年)	2951 (1999 年)	TDS は 1993 年から 1994 年にかけて急激に増加、その後 1998 年からやや増加傾向し、現在約 3000mg/ℓを超えており、井戸は閉鎖すべきである。		閉鎖
E 2	1605	1630	TDS は 1993 年から 1994 年にかけて急激に増加し、その後やや減少傾向にある。取水量と相関関係がある。取水量は継続してほぼ 32m ³ /時程度である。		継続
E 3	2536	2579	TDS は 1993 年から 1994 年にかけて急激に増加し、その後、漸次増加傾向にある。現在、TDS が 2500mg/ℓを超えており、揚水量調整しても回復の見込みはないものと判断される。		閉鎖
E 5	1199	1252	TDS は 1988 年から減少傾向にあったが、1996 年～1997 年に増加し、1998 年に再度減少した、近年は比較的安定している。1999 年、2000 年は取水量が計画値の 48m ³ /時から 10m ³ /時以下に低下しており、TDS が低いのはその影響であると考えられる。	更新	揚水量調整による利用 (25m ³ /時)
E 6	1728	1764	TDS は 1994 年より減少傾向にあったが、近年は 1750mg/ℓ程度で比較的安定している。揚水量は 1993 年には 30m ³ /時であったが、近年は 20m ³ /時程度に低下している。		揚水量調整による利用 (20m ³ /時)
E 7	1383	1420	TDS は 1994 年より減少傾向にあったが、1999 年より僅かに増加傾向にある。揚水量は 37～40m ³ /時程度で安定している。	更新	揚水量調整(25m ³ /時)
E 8	1009 (1995 年)	1042 (1995 年)	1995 年末に放棄されたが、ONED が独自に改修工事を行った。水中ポンプは未設置である。過去のデータでは TDS は 1000 mg/ℓであり、利用可能である。		利用
E 9b	1316	1349	1994 年より TDS の変化はなく安定している。揚水量も 38m ³ /時程度で安定している。		継続
E 11	1809	1842	TDS は 1994 年より僅かに増加傾向にある。揚水量は 46m ³ /時程度であり、揚水量調整にて、TDS 回復の見込みがあるものと判断される。	更新	利用
E 12	2026	2067	TDS は 1999 年より増加傾向にある。揚水量は 23m ³ /時と少ないにも関わらず TDS は 2000mg/ℓを超えており、揚水量調整による回復は見込めない。		閉鎖
E 13	1725	1760	TDS は近年は約 1800mg/ℓ程度と大きいのが比較的安定している。揚水量が 80m ³ /時程度と過大揚水の傾向があることから、揚水量調整にて回復の見込みがある。		揚水量調整による利用
E 15	1848 (1998 年)	1890 (1998 年)	1998 年に放棄、揚水量は 80m ³ /時程度で運手されていた。TDS が約 1900mg/ℓであり要注意。	更新	閉鎖(停止)
E 16	2153 (1996 年)	2183 (1996 年)	1997 年に放棄。TDS は 2200mg/ℓを超えており要注意。	更新	閉鎖(停止)
E 17	1887	1888	揚水量は 25m ³ /時程度と少ないが、TDS は 1994 年より継続して約 1900mg/ℓ程度と高い。今後の経過を見る必要がある。		保留

表 2.32 塩水化状況からの既存井の利用(2/2)

井戸 番号	全溶存 塩分 (mg/ℓ)	TDS (mg/ℓ)	状 況	ONED 要請	評価
E 18	2229	2269	TDS は 1995 年より継続的に安定していたが、1998 年より増加傾向にあり、現在、約 2300mg/ℓとなっている。現在の揚水量は 86m ³ /時であり、1996 年には揚水量は 60m ³ /時であったことから、揚水量調整による TDS 回復の見込みは少ない。		閉鎖
E 19	2041	2061	TDS は 1994 年から緩やかに増加傾向にあり、2000mg/ℓを超えているが、現在の揚水量が 87m ³ /時と過大傾向となっていることから、揚水量調整にて TDS 回復の見込みはあるものと推定される。		揚水量調整による利用
E 21	1594	1637	揚水量は 1996 年から減少傾向にある (65m ³ /時→37m ³ /時) が、TDS は緩やかに増加傾向にあり、今後の傾向をみる必要がある。		保留
E 22	1512 (1999 年)	1543 (1999 年)	TDS は 1994 年から比較的安定していたが 1999 年より緩やかに増加傾向にある。揚水量は 2000 年に入って 70m ³ /時で揚水されていることから、40m ³ /時に揚水量調整する必要がある。		揚水量蝶背による利用
E 24	2573	2592	各年によって増減の変化が大きいが、全体的に増加傾向にある。揚水量 38m ³ /時程度で、TDS は 2600mg/ℓを超えており閉鎖すべきである。		閉鎖
E 25	2218	2243	1994 年までは、揚水量は 60m ³ /時で運転され、TDS は 1800mg/ℓ程度であった。1998 年以降の揚水量は 50m ³ /時程度となり、TDS は 2000mg/ℓとなり、今後も回復の見込みはないものと判断される。		閉鎖
E 26	2108	2128	揚水量は 85m ³ /時程度と安定しているが、TDS は 1990 年以来増加傾向にあり、現在、TDS は 2200mg/ℓ近くあり閉鎖すべきであるが、近隣の住人が直接、この井戸を利用しているため、揚水量を 40m ³ /時程度に落として利用するべきと考えられる。		揚水量調整による利用
E 27	2043	2065	1990 年以来増加傾向にある。揚水量は 130m ³ /時から 160m ³ /時と過剰揚水となっており、TDS は 2000mg/ℓ近くとなっていることから、閉鎖すべきである。		閉鎖
E 29b	1251	1276	TDS が 2000 年に入って若干増加済み。		
E 30	1157	1186	TDS は 2000 年に入って若干増加済み。		
E 31	1377	1419	TDS は 1994 年以来安定していたが、1998 年より増加傾向にある。1993 年頃は揚水量は 42m ³ /時程度であったが、1998 年以降は 62m ³ /時程度となっている。揚水量の低減を図るべきである。		揚水量調整による利用
E 33	1756 (1999 年)	1788 (1999 年)	1994 年頃は揚水量は 55m ³ /時程度であり、現在は 45m ³ /時程度に低下している。しかしながら、全溶存塩類は 1994 年以来増加傾向にある。		
E 35	863	900	特に問題なし。		
E 36	713 (1999 年)	728 (1999 年)	特に問題なし。		
PK20-1	733	781	特に問題なし。		
PK20-2	751 (1999 年)	781 (1999 年)	1999 年末に事故発生、閉塞	更新	
PK20-3	895	946	特に問題なし。		
PK20-4	908	977	特に問題なし。		

2-8 調査対象地区の地下水調査

調査対象地区では亀裂に富む硬質や玄武岩中に挟存されたスコリア層が帯水層としており、既存井はこれらの層より取水している。ジブティ国側より要請のあった井戸サイトの帯水層の種類や性格を確認するため、地表踏査、空中写真判読、物理探査を行なった。また、沿岸地域の塩水化状況も物理探査により確認した。以下に調査結果を述べる。

2-8-1 空中写真による断裂帯判読

衛星画像や空中写真の判読によると、ジブティ帯水層地域における大きな規模の断層は、直線的に伸びる大規模なワジとなっていることが多い。また、小規模な断層は、小さなワジや弱いリニアメントとして認められ、このような断層はジブティ帯水層地域には無数に存在する。

今回調査した井戸掘削サイトのうち、Godchabel 地区では井戸掘削サイト周辺に大規模なワジや断層は認められないが、小規模なワジや無数のリニアメントが認められる。一方、Gegada 地区の井戸掘削サイト付近には Deydey ワジが存在し、このワジは部分的に直線となっている区間があり、その部分は断層起源と推定され、帯水層への地下水涵養に有利である。

新規に井戸を掘削する Godchabel 地区および Gegada 地区の空中写真判読結果を以下に要約する。

表 2.33 Godchabel 地区及び Gegada 地区空中写真判読結果

地区名	井戸掘削サイト	空中写真判読結果
Godchabel 地区	F-3	井戸掘削サイト近傍に断層起源と推定されるワジと、サイト周辺で3本の弱いリニアメントが認められる。
	F-4	井戸掘削サイトで交差する2本のリニアメントが認められる。
	F-5	井戸掘削サイトの横を流れるワジは断層起源と推定され、また弱いリニアメントが2本掘削サイトで交差している。
Gegada 地区	Z-2	井戸掘削サイト自体を横断するリニアメントはないがサイトの北側を流れる Deydey ワジは断層起源と推定される。
	Z-3	井戸掘削サイトを横切る弱いリニアメントが1本認められ、それが小ワジと交差している。
	Z-25	井戸掘削サイトの北側を流れる Deydey ワジは断層起源と推定され、またこのワジと交差するリニアメントが掘削サイトに到達している。またこれと斜交するリニアメントが1本認められる。

2-8-2 物理探査

本調査では新規井戸及び更新井戸掘削地点の地質状況と沿岸部の塩水侵入状況を確認するため物理探査を行なった。物理探査は電気探査及び電磁探査を行い、物理探査はシュラ

ンベルジャー法電気探査、電磁探査は VLF-EM 法を採用した。図 2.12 に物理探査実施位置を示す。

電気探査は新規井戸掘削地点、井戸更新地点の地質状況および海岸部の塩水侵入状況の確認を目的とし、VLF 調査は井戸新規掘削地点の玄部岩層中の断裂帯を探査することを目的とした。

(1) 電気探査(シュランベルジャー法)

実施数量

シュランベルジャー法電気探査実施にあたっては、探査深度は計画井戸深度を考慮して展開長を設定することとし、実施数量を表 2.34 に示すとおりである。

表 2.34 電気探査実施数量

区分	地区	探査対象	最大 AB/2	測点数
新規井戸掘削	PK20 地区	F3bis	900m	3
		F9bis	900m	1
		F10bis	900m	1
	Gegada 地区	Z2	900m	3
		Z3	900m	3
		Z25	900m	3
	Godochabel 地区	F3	900m	4
		F4	900m	4
		F5	900m	4
既存井戸更新	Nagada 地区	RG-2	300m	2
		E5	300m	2
		E7	300m	1
		E11	300m	1
		E15	300m	(1) ^{注)}
		E16	300m	(1) ^{注)}
海岸部における塩水侵入状況の把握	ジブティ市南東部の海岸地帯	A 測線	各 300m	6
		B 測線	各 300m	7
		C 測線	各 300m	8

注)()内は海岸部塩水侵入状況調査において実施した。

AB：電流電極の展開長さ

電気探査結果

ジブティ帯水層は玄武岩から成り、この玄武岩は水理地質的な観点から複数の層に区分されている。各層を区分するに当たっての基準は、玄武岩の割れ目の発達程度、風化程度、また玄武岩に挟在されたスコリア層や過去の沖積堆積物の存在である。現在までにジブティ国における井戸調査および井戸掘削の経験から、亀裂に富む玄武岩および玄武岩層中に挟存されたスコリア層が帯水層として適していると認識されてい

る。電気探査により各層を細かに区分することは困難であるが、大まかに区分された比抵抗層が帯水層としての期待できるか否かを大略判断することは可能である。

一方、過去の事例（主に海岸沿い既設井戸の結果）から、ジブティ国水理地質関係者は帯水層の比抵抗値の指標を $20\Omega\text{m} \sim 100\Omega\text{m}$ と提案している。これは比抵抗値が $20\Omega\text{m}$ 以下の場合は塩水を含む地層あるいは玄武岩が粘土化した地層と解釈され、比抵抗値 $100\Omega\text{m}$ 以上の場合は貯水量が少ない玄武岩層と解釈されている。

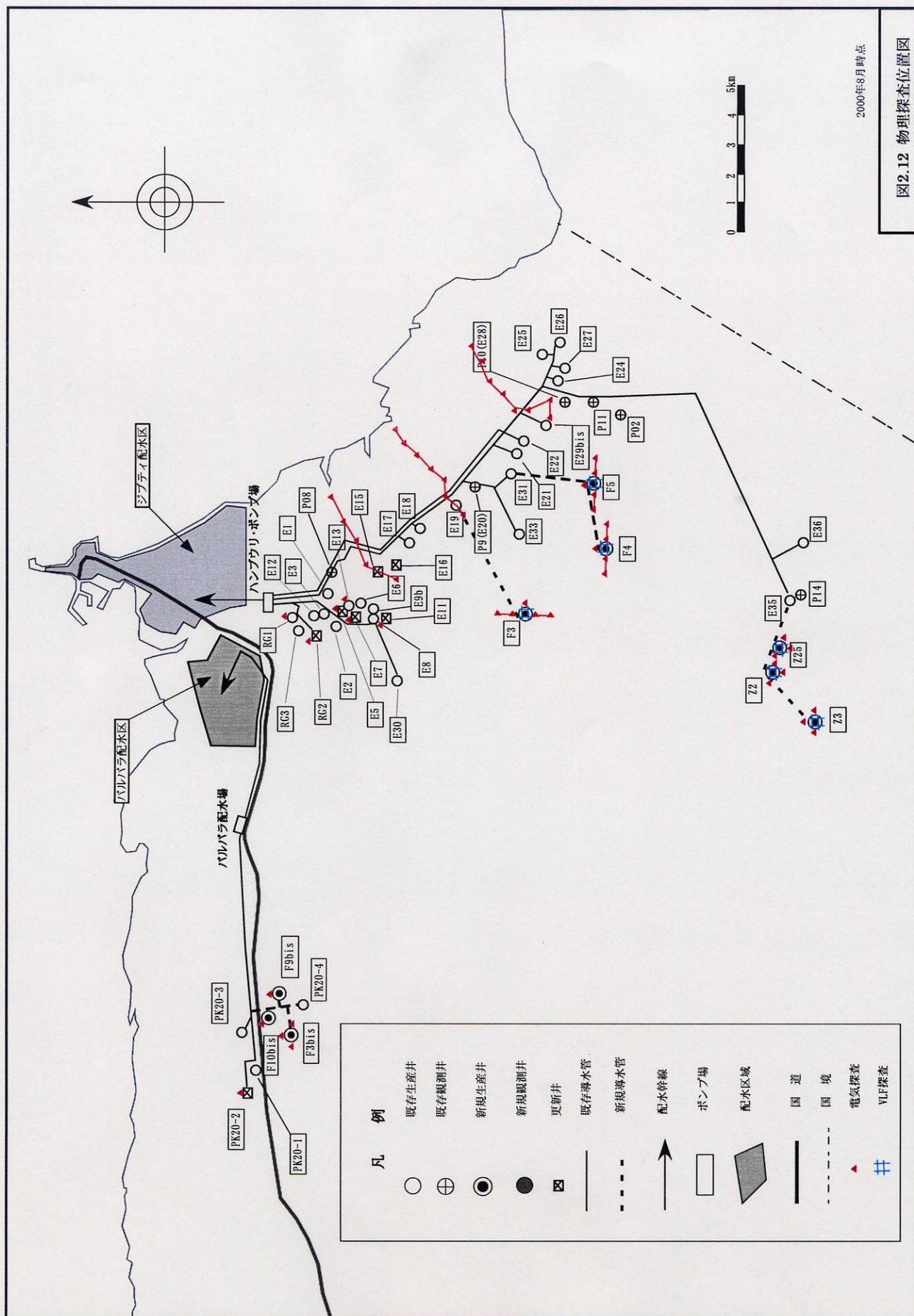
今回の電気探査の結果、新規井戸地点では表 2.35 にしめすとおり、帯水層と推定される比抵抗値が確認された。また、更新井戸地点でも表 2.36 に示すとおり、帯水層と推定される比抵抗値が確認された。図 2.13 に代表的な物理探査実施位置の詳細と解析結果の比抵抗断面図を示す。

表 2.35 新規井戸掘削サイトの地下水面下の解析結果比抵抗値

地区	井戸名	井戸掘削時に確認した帯水層の地質	地下水面下（帯水層）の比抵抗値
Godchabel	F3	-	110 – 200 Ωm
	F4	-	25 – 35 Ωm
	F5	-	60 – 150 Ωm
Gegada	Z2	-	40 – 100 Ωm
	Z3	-	70 – 180 Ωm
	Z25	-	50 – 85 Ωm
PK20	F3bis	亀裂に富む玄武岩	3-300 Ωm
	F9bis	亀裂に富む玄武岩	20-150 Ωm
	F10bis	不明（破碎帯と推定）	3 Ωm

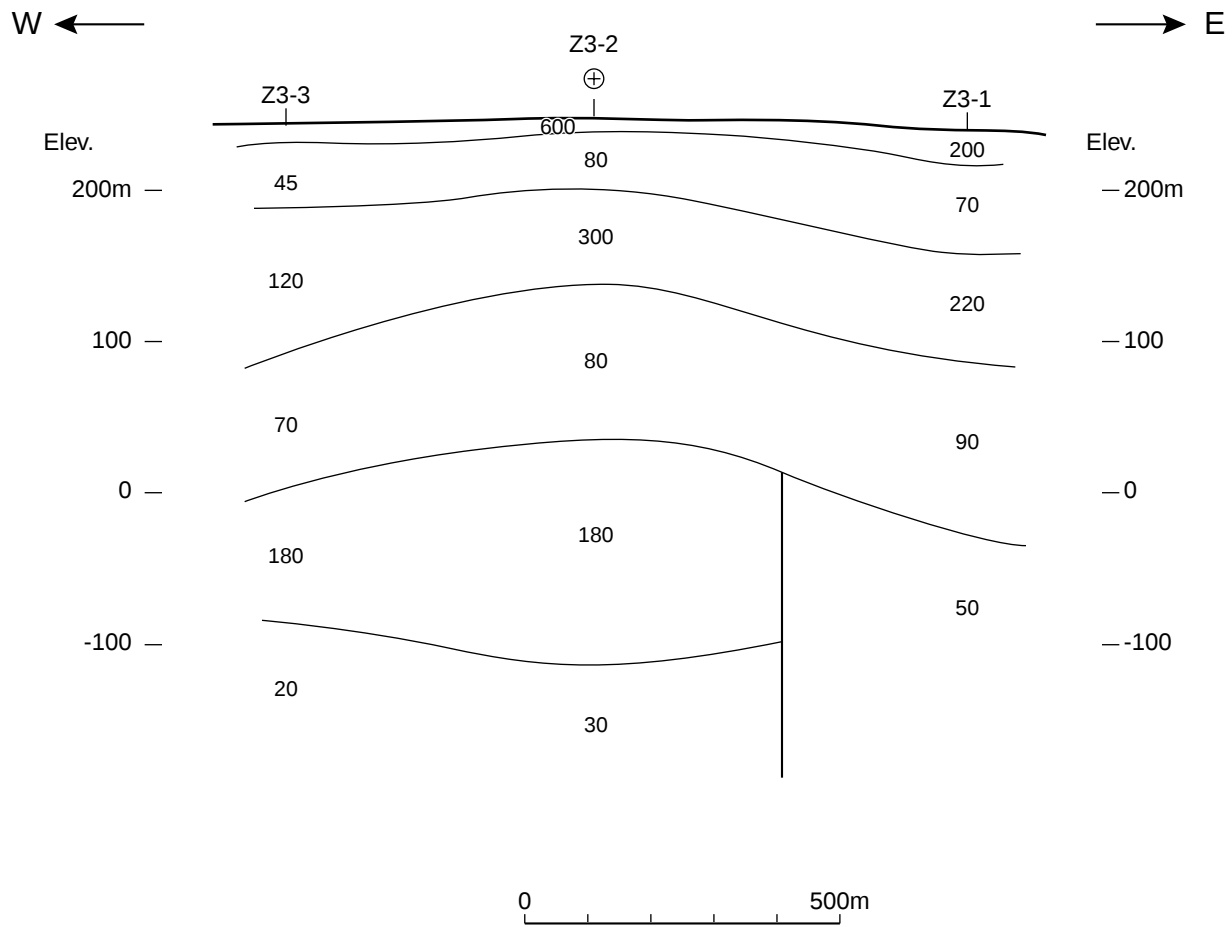
表 2.36 更新対象井戸の電気探査結果

地区名	井戸名	井戸掘削時に確認した帯水層の地質	電気探査結果
Nagad	RG-2	不明	帯水層比抵抗値 16 Ωm 。GL-80m に低比抵抗層。
	E-5	不明	帯水層比抵抗値 25-200 Ωm 。GL-70m に低比抵抗層
	E-7	亀裂に富む玄武岩	帯水層比抵抗値 25 Ωm 。GL-110m 低比抵抗層
	E-11	火山灰混じり亀裂質玄武岩	帯水層比抵抗値 35-150 Ωm 。GL-135m に低比抵抗層
Douda	E-15	スコリア質玄武岩	帯水層比抵抗値 73 Ωm 。GL-100m に低比抵抗層
	E-16	亀裂に富む玄武岩-粘土混じり亀裂玄武岩	帯水層比抵抗値 30 Ωm 。GL-90m に低比抵抗層
PK20	FU-2	スコリア層、亀裂に富む玄武岩	帯水層比抵抗値 2-100 Ωm 。GL-210m に低比抵抗層



Gegada

Z3



Legend

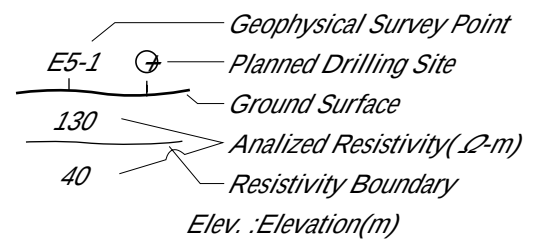


圖2.13 電氣探查解析結果圖(代表例Gegada)

(2) 電磁探査 (VLF-EM 法)

実施数量

VLF-EM 法は VLF 波が地表付近を通過する時に、VLF 波に誘導され大地が発生する 2 次磁場を観測するものであり、VLF 波の通過に伴って地表付近 (深度 50m 以浅) に存在する直立に近い板状の低比抵抗体が大きな誘導 2 次磁場を発生することから、VLF-EM 法は断層位置の検出に適した方法である。

しかしながら、本探査法は大地の比抵抗値を測定することは出来ないことから、VLF-EM 法の実施に当たっては、各サイトにおける井戸掘削予定地点を中心として、1 本 500m の測線を南北方向および東西方向にそれぞれ 3 本ずつ計 6 本を格子状に配置し、各測線上を 20m 間隔で測定した。各測線上で観測された電磁場のピーク位置が断層 (断層) の位置と推定し、各サイトに断層の位置と方向を推定した。

実施数量を表 2.37 に示す。

表 2.37 VLF 探査実施数量

区分	地区	探査対象井戸	測線数 × 測線長(m)	測点数
新規井戸掘削	Gegada 地区	Z2	6 × 500m	150
		Z3	6 × 500m	150
		Z25	6 × 500m	150
	Godochabel 地区	F3	6 × 500m	150
		F4	6 × 500m	150
		F5	6 × 500m	150

電磁探査結果

本調査対象地区では、VLF 波による誘導電磁場は強いものではなく、断層位置の兆候は明確でなかったが、何本かの断層を検出することが出来た。VLF 探査で検出される断層は、比較的地表に近い部分(GL-50m より地表に近い部分)に存在する断層帯であり、探査で検出された断層のうち幾つかの断層は空中写真で判読できたものである。

一方、探査で検出された断層のうち地表下に伏在した断層は、空中写真では判読できないものである。VLF 探査結果では、ジブティ側から要請された井戸掘削計画地点の周辺を数本のリニアメントが通っていることから、計画地点の近傍に断層帯が存在していることが期待され、要請された井戸掘削計画地点は有望であると判断される。また、要請された井戸掘削地点は、過去における電気探査および断層帯調査の結果に基づき提案されており、本 VLF 探査結果はその結果とほぼ合致している。図 2.14 に格子状に配置した測線上で検出された異常磁場の位置の代表例を示し、各サイトの結果を巻末資料に添付した。

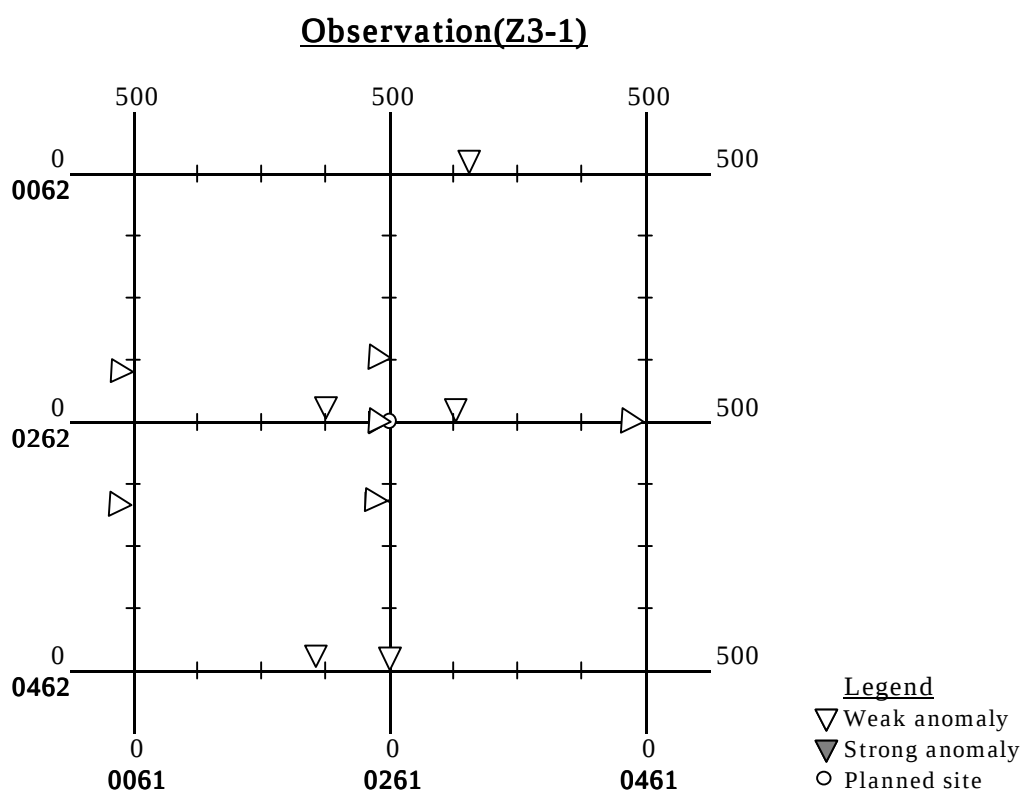
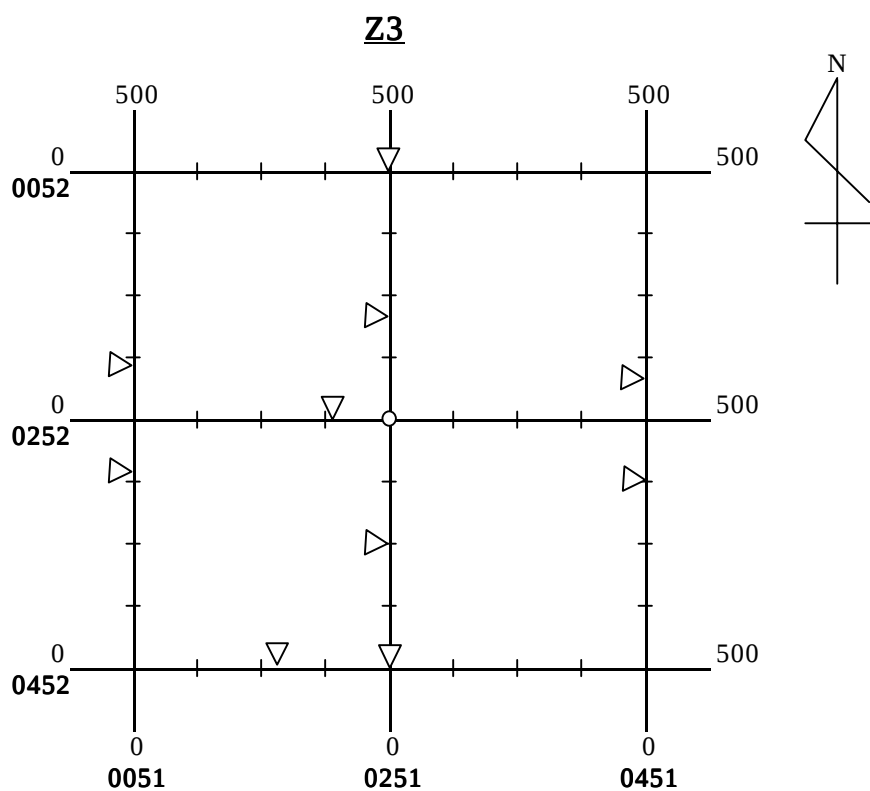


図2.14 VLF探査結果解析図（代表例）

2-8-3 流域と地下水流動

ジブティ帯水層は下記に示す4つのワジ流域の東半部に位置しており、主に Golf 玄武岩によって形成されている（「図 2.15 調査対象地域水系図」参照）。

Hambouli ワジ流域	589km ²
Douda ワジ流域	65km ²
Damerdjog ワジ流域	60km ²
Deydey ワジ流域	320km ²

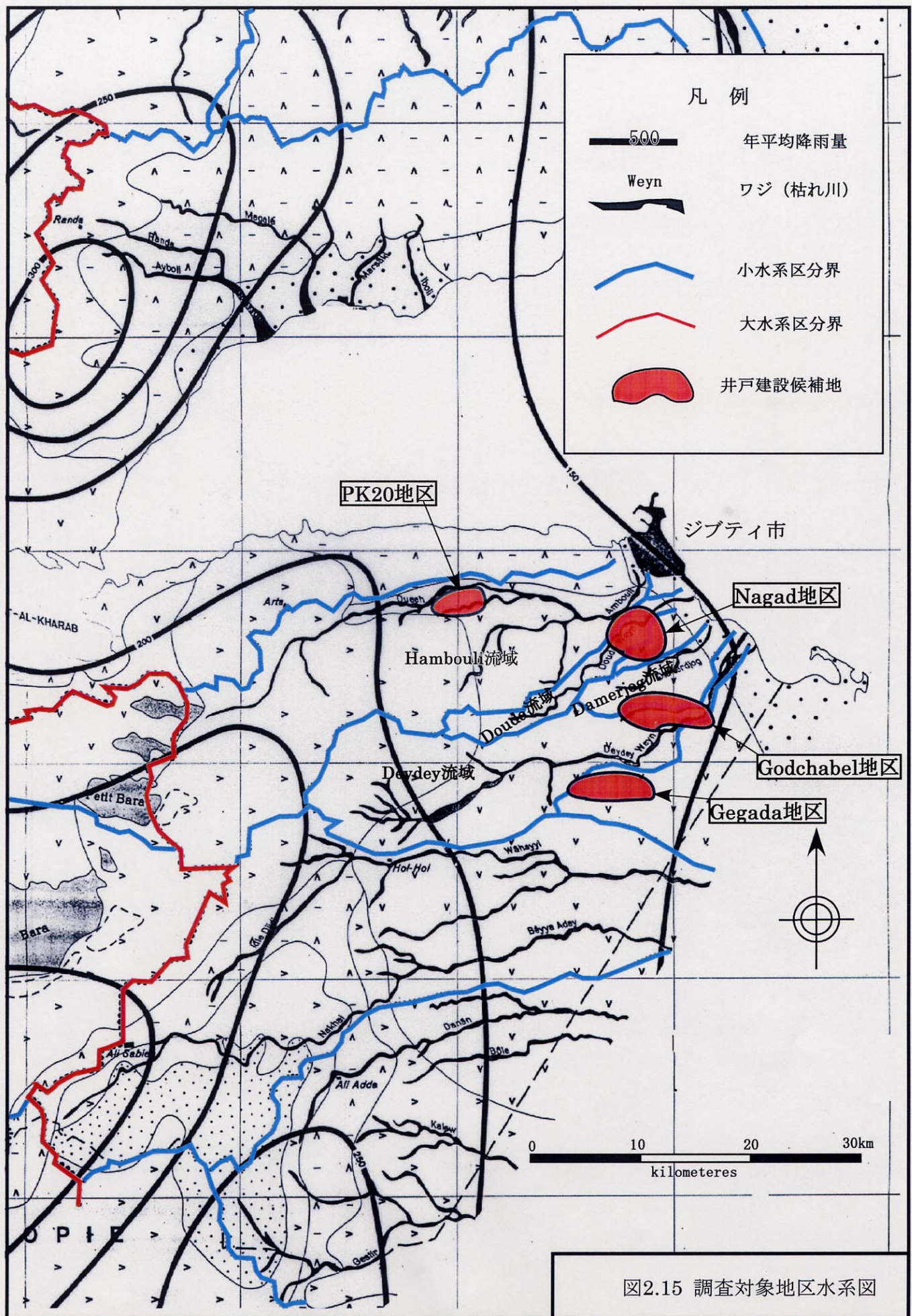
4 流域は概ね東西に 50km、南北に 23km の広がりを持ち、全てジブティ国内にのみ流域が存在する。この4つのワジの中で最も南部に位置する Deydey ワジ流域の更に南側に存在する Wahayyi ワジ流域はその下流部が隣国ソマリアに属している。「図 2.16 ジブティ帯水層の現況地下水分布」に基づきジブティ帯水層における広域地下水流動系を考察した場合、上記 ~ のワジ流域における地下水はジブティ国内のみを流動しているが、Wahayyi ワジ流域とその南側の流域に存在する地下水はその大部分がソマリア側に向かって流動していることが推定される。

2-8-4 ジブティ帯水層の既往地下水開発

ジブティ帯水層の地下水開発は、1960 年代初期にジブティ市南部約 7km に位置する Nagad 地域で始まり、その後、より南部に位置する Douda 地区、Damerjog 地区、Atar 地区へと拡張されていった。

これらの井戸群は海岸線にほぼ平行して建設されており、海岸線からの距離は約 5km であり、非常に透水性の高い玄武岩を帯水層とし、主要ワジが形成した広大な氾濫原堆積物から地下水の供給を受けやすい場所に位置している。1990 年代初頭で約 1,110 万 m³/年取水されており、1980 年からこれらの井戸群の塩水化が顕在化し、過剰揚水が指摘されている。

その後、上記の井戸群より内陸に位置する PK20 地区および Gegada 地区で井戸が完成され 1998 年から給水を開始し、1999 年の実績ではジブティ帯水層からの約 1,354 万 m³/年取水されている。



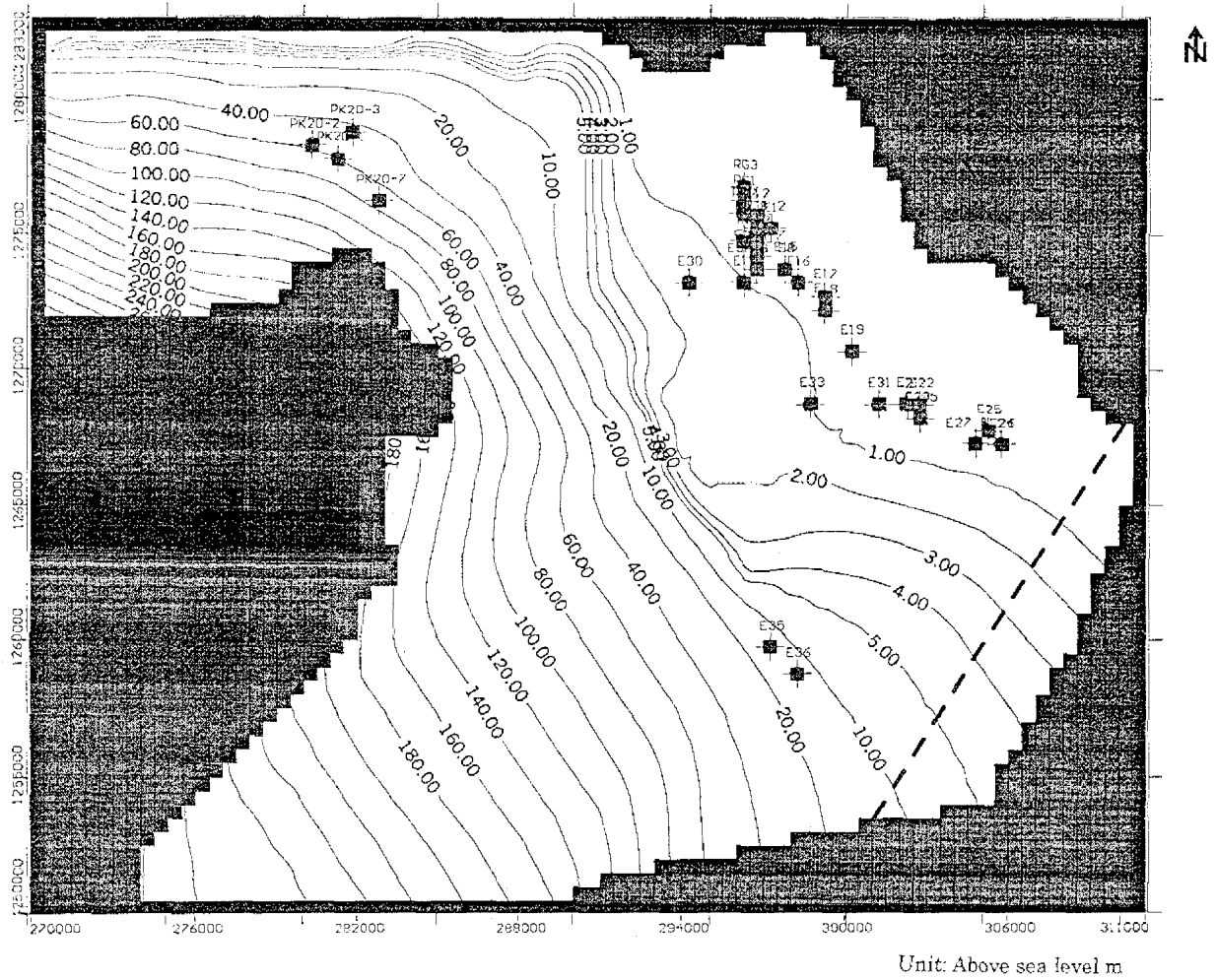


図 2.16 ジブティ帯水層の現況地下水分布

2-8-5 ジブティ帯水層の涵養メカニズムおよび涵養量

ジブティ帯水層への涵養は、大きなワジの河床を通じて行われるというのが定説になっている。1980年にドイツ国水理地質技術協力(CHA)によって、Hambouli ワジの流量が下流に向かって減少していることが観測され、この観測結果を基にジブティ帯水層への涵養量が初めて推定された。ジブティの主要4ワジ(Hambouli、Douda、Damerdjog、Deydey)の河床堆積物中に浸透した降雨はワジ兩岸に分布する断層を通じ、玄武岩中の亀裂部やスコリア層内に浸透し、ジブティ帯水層内を流動するものと考えられる。図 2.17 にワジからの地下水涵養の概念を示す。

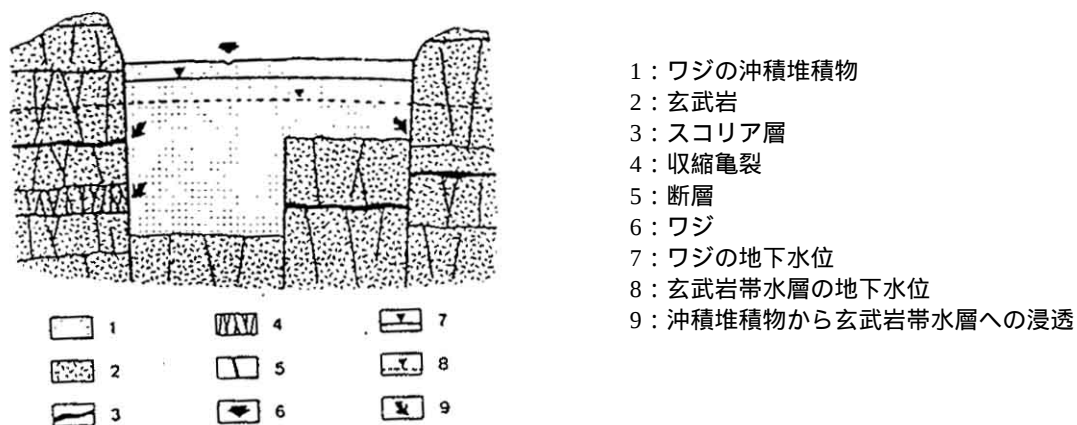


図 2.17 ワジからの涵養モデル (ISERST、1994 年)

ジブティ帯水層の地下水涵養量は、1982年にCHAによって1,000万～2,000万 m³/年という値が初めて算出された。その後、色々な研究者・研究グループによって次のような地下水涵養量の推定値が求められた。

表 2.38 ジブティ帯水層への涵養量推定値

研究者	年度	涵養量	調査解析方法
CHA	1982	1,000～2,000 万 m ³ /年	河川の流量観測結果の解析
ONED 水理地質室	1984	1,000～1,400 万 m ³ /年	水収支解析
ジブティ・ドイツ水理地質技術協力 (CHDA)	1987	1,500 万 m ³ /年	数値解析
ISERST	1994	1,500 万 m ³ /年	数値解析

現在、ジブティ国内の水理地質研究者はこれらの調査結果から、現段階における統一見解としての地下水涵養量を 1,500 万 m³/年としている。尚、ISERST ではフランス国の技術協力により、更に精度の高い涵養量推定の研究を継続中であるが、まだ基礎段階にある。従って、地下水開発可能量を決定する要素の1つであるワジからの地下水涵養量は 1,500 万 m³/年を採用するのが現時点では最良であると判断される。

2-8-6 ジブティ帯水層塩水化の状況

既存生産井塩水化は 1980 年代から顕著になり、ジブティ帯水層の塩水の起源としては海水と化石水の 2 種類が指摘されている。ジブティ帯水層の塩水化は海岸部地域（海岸から約 10～15km 以内の地域）と内陸部地域（海岸部から約 10～15km 以上の地域）に分けている。

ジブティ市給水の水源となっている海岸付近既存井戸群は、主に紅海に面した海岸線とほぼ平行に位置している（Nagad 地区-Douda 地区-Damerjog 地区-Atar 地区にいたる井戸群）。これらの井戸群は海岸から約 5km の位置にあり、この井戸群の塩水化の原因は海水の侵入とされている。井戸群と海岸との距離、帯水層の分布状況、観測井(P08)における塩水・淡水境界面の確認（1988 年 ONED の調査）、電気探査結果および井戸群の水質を総合すると、塩水化の原因が海水の侵入であることが推測される。

今回実施した電気探査の結果では、Nagad 地区、Damerdjog 地区、Atar 地区の既設井戸群の海拔-50m～-80m 付近に海水侵入層と見られる低比抵抗層が確認された。一方、塩水と淡水との力学的バランスを考えると、塩水・淡水境界は電気探査結果の境界深度よりも若干浅く海拔-40～50m 程度に存在するものと予測される。

フランスの技術協力による電気探査から、PK20 地域では海拔約+25m 付近に低比抵抗層の存在が明らかにされた。また、今回の調査で実施した電気探査でも海拔 +10m～+60m の区間で低比抵抗層の存在が確認された。しかしながら、PK20 地区の既設井戸群の地下水位が海拔+50m～+60m であり、淡水と海水の力学的バランスから予測される淡水・塩水の境界位置を考えた場合、淡水・塩水の境界は電気探査結果から予測される位置よりもはるかに深部に位置するはずであり、上述した低比抵抗層が海水の侵入を示すものとは考えにくい。

1960-1980 年代にフランス国が行った電気探査結果では、内陸部のジブティ帯水層の大部分の地域において、概ね $20\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗層の存在が明らかにされ、その実態が高塩分濃度地下水である可能性が指摘された。

一方、海岸から 14km に位置する Hidka Gisiyed 観測井で $23,000\mu\text{S/cm}$ の高塩分濃度地下水が確認されたが、それ以外の地域では海水の侵入を示すような高塩分濃度地下水は確認されていない。従って、低比抵抗層の実態は、地層に由来する低濃度塩水（化石水）あるいは粘土層の存在であると推定される。

2-8-7 塩水化地域の範囲

現在のジブティ帯水層の地下水位分布を考慮した場合、新規地下水開発に伴い、Nagad

～ Atar 地区および Godchabel 地区までが海水進入の可能性のある地域と推定され、一方、PK20 地区及び Gegada 地区は海水侵入の可能性は低いと推定される。その理由として、ジブティ帯水層の地下水位分布形状の特殊性が指摘されている。

ジブティ帯水層の地下水位分布を見た場合、図 2.18 に示すように、海岸から 10～15km 地点まで地下水面の勾配は極めて緩いが、その地点から内陸に向かって地下水面の勾配は急激に増加する。この南北に伸びた地下水面の勾配の変換点（地下水位海拔 2～10m の部分）を境にして、淡水・塩水境界面の深度は急激に変化することが予測される。すなわち、海岸から地下水面勾配の変換点までは淡水・塩水境界は海拔-100m 以浅に存在するが、変換点から内陸側では淡水・塩水の境界は急激に深くなるものと推定される。

下水面の勾配が変化する理由は、勾配変換点を挟んで両側の帯水層の透水性が大きく異なる（海岸側の透水性が高く、内陸側の透水性が低い）ことと、勾配変換点に沿って難透水性の岩脈が南北方向に伸びており、この岩脈が内陸側の地下水面を堰上げていることが指摘されている（ISERST, Dr. Jaludin, 1994 年）。

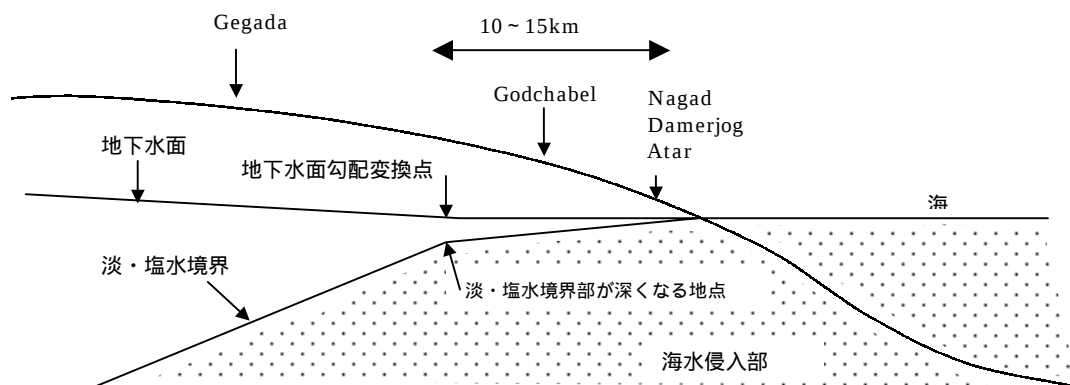


図 2.18 塩水侵入域の模式図

現状では、ジブティ帯水層の涵養量 1,500 万 m^3 /年以内に取水されているものの、塩水化が進行している状況にある。既存井戸の多くは Nagad 地区、Damerjog 地区や Atart 地区に建設されている。上図に示すとおり、Nagad 地区、Damerjog 地区や Atart 地区は沿岸地域に位置しており、これらの既存井は集中的な配置となっている。また、地下水静水位は海水面よりやや高い状況にあり、動水位は海水面以下となっている状況にある。この状況のもと、集中的配置となっている既存井から涵養量の約 75% が取水されていることから、淡水・塩水境界面が上昇し、塩水化が進行しているものと判断される。

2-9 環境への配慮

新規井戸開発地域並びに更新井戸地域は、基本的にジブティ市郊外に位置しており、ほぼ原野となっていることから、井戸開発による環境破壊、地盤沈下や住民移転等の心配はない。尚、建設予定地域では集落が既存井戸 E11 において 1 集落確認されており、この集落を対象として、建設時の残土、井戸建設時の油脂類の処理等に配慮する必要がある。

また、沿岸部地域に建設されている井戸では塩水化が確認されており、本プロジェクトが実施された場合は、生産井と観測井の水質モニタリングをとおして水質及び水量管理に努める必要がある。