

- 2) しかし、水理地質条件に恵まれない地区では、これら深井戸の掘さくは不成功に終わり、ほとんどが放棄される結果となっている。
- 3) 一方、成功井は、集落居住地から遠方の低地ワジに建設され、山岳地への送水施設がないため、水源施設だけを運転して地域住民に売水するか、または密閉されて未使用の状態が続いている。
- 4) このため、全般的傾向として、対象11地区の住民は、遠隔地水源から給水車で山岳地まで運搬される売水を購入する状態が続いている。
- 5) 地区によっては、居住地周辺の浅井戸が季節的に利用できるが、乾期には枯渇し、3～5ヶ月ほとんど利用出来なくなるところもある。

一般的に、ワジ低平地の水源ポンプ場における売水価格は、10～20イエメン・リヤル/m³（約200円）であるが、山岳地まで給水車で運ばれると10倍以上の200～250イエメン・リヤル/m³にも跳ね上がり、一般消費者は高価な生活用水の購入を強いられている。地区住民の平均月収は上記したように多くとも3,000イエメン・リヤル程度であるから、高い買水は頻繁に出来るものではなく、10日から2週間間隔で1 m³の購入がせいぜいで、一世帯7～10人の主として飲料、炊事用水を賄っている。したがって、現在の一人一日水消費量は平均10～15ℓ程度と推定される。調査地区では対象外となった3地区も含めて、このような給水事情が平均的な水消費の実態であり、地方住民が生活用水の確保に苦勞している現状を明瞭に示すものであった。

なお、各対象地区の一般環境調査結果は各地区内容をそれぞれ表に整理して第3.4節に示す。

3.2 対象地区の人口

イエメン政府は、湾岸危機のさなか1990年11月23日サウジ政府により817,000人のイエメン人が強制送還されたと発表した。その大部分は現在首都サナアをはじめとする同国の大都市に集中しているが、地方集落に帰還した出稼ぎも多い。本計画にはサウジとの国境地帯サダ州2地区が含まれているが（ただし、1ヶ所は対象外となったNo. 13: Al Thaiyah）、インタビューによると同地区にはその影響がはっきりと現れており、他地区でも帰還者が増大している。次表は各地区におけるLCCD代表等に対するインタビュー結果をまとめたものである。

表-3.2 対象地区における最近の国外帰還者数

地区 番号	地 区 名	州 名	現在人口	帰還者数	国 外 居住者
1.	Iyal Qasim	Sana'a	1,500	—	100
2.	Mahalat Najr	Sana'a	2,000	100	5
3.	Khamis Bani Hajaj	Sana'a	5,400	—	100
4.	Bani Afif	Taizz	7,300	700	300
5.	Al Husha	Taizz	13,000	—	100
6.	Al Usfyn	Taizz	28,500	2,000	10,000
7.	Al Jabub	Ibb	2,000	700	50
9.	Al Ghudu	Marib	1,770	20	500
11.	Aflah Al Yaman	Hajjah	4,500	1,000	200
12.	Bait Al Sultan	Al Mahweet	3,600	—	—
13.	(Al Thaiah)対象外	Sa'dah	1,445	350	100
14.	Al Mallaheeth	Sa'dah	3,180	1,200	500

対象地区の給水人口を予測するに際し、さらに帰還者が増加すると予想される場合は本要素を考慮する必要があるが、湾岸戦争終結にともないその動向はいったん落ち着いたものと判断されるので、今回の調査による現在人口を基本とする。

増加率については、上記帰還者の要素をのぞいては、「北」における1981～1986年の統計資料を基準に置くこととし、全人口のうちの国内居住者の年平均増加率2.55%を採用する。この数値は、1982/1983年の国連による調査に基づく2.5%に対応するものであるが、RWS Dの施設設計基準では全人口の年平均成長率を2.9%、地方人口に対しては2.5%を標準としている（添付資料IV-a参照）。

3.3 自然環境

本調査の11対象地区は、「北」全域に分散し、地区それぞれの自然条件はほぼ全国的な自然環境を反映するものとなっている。したがって、本節は、全国的な自然環境とその中の各地区の位置づけを概観する。

3.3.1 地形、地質

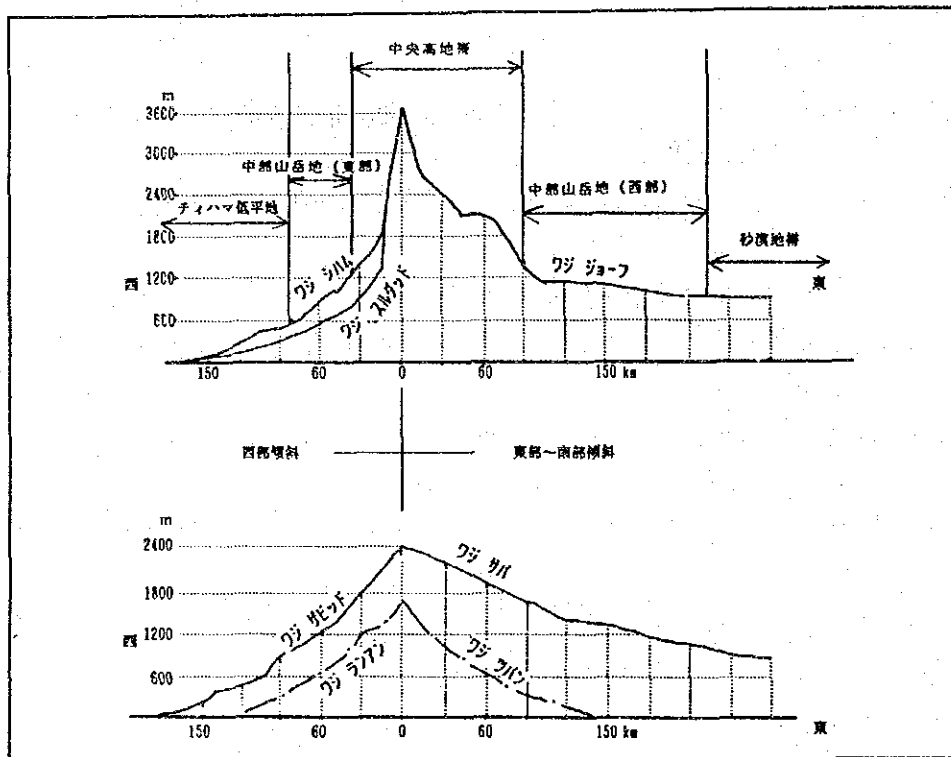
(1) 地形

「イ」国は、アラビア半島の中でも最も標高が高い地域を形成する。全土は、標高、地貌から南北に配列する4地形に大区分されるが、西側（紅海側）から東端（ワバール砂漠）に向かって、以下の通りとなる。

- ① ティハマ低平地帯 (Tihama Lower Pressure Zone)
- ② 中部山岳地帯 (Central Mountains Zone, Eastern and Western)
- ③ 中央高地帯 (Central Highlands Zone)
- ④ 砂漠地帯 (Desert Zone)

主要河川（ワジ）に沿う横断面、図-3.1 に示すように、「ティハマ低平地帯」と「中部山岳地帯」は、2,000mにも及ぶ急崖で接するが、中部山岳地帯の東縁は、山地から徐々に台地、砂漠に漸移し、「中央高地帯」の分水嶺は極端に偏した非対象地形を示す。

図-3.1 主要河川（ワジ）に沿う横断面図



計画対象地区の大半は「中部山岳地帯」と「中央高地帯」に属するが、No.11: Aflah Al Yaman とNo.14: Al Mallaheethは「ティハマ低平地帯」が山岳地帯に接する境界の丘陵地域に存在し、前者の影響で高温・多湿気候に支配される。また No. 9: Al Ghuduは「砂漠地帯」が始まる地域の丘陵地に位置する（地形区分と対象地区位置の関係は、図-3.3 参照）。

河川は、東流するものと西流するものに分けられ、紅海に注ぐ西流河川は急流で流路が短いのに対し、東流するものは緩やかで流路が長いのを特徴とする。これら河川は「ワジ」（涸れ谷）と呼ばれ、西流河川の一部を除き、年間を通じての常時流を持たない。

(2) 地質

「イ」国の地質層序を表-3.3に示す。計画対象地区の南部、北部は、最古層である先カンブリア基盤の花崗岩や片岩が分布するが、本計画対象地区では最も新しい第四紀火山岩を含め、様々な地質年代の硬岩が地下水開発の対象となる。全国の地質分布状況と対象地区の位置を図-3.2に示す。各地区の地質条件詳細は各論で述べるが、地下水開発と関連する地質的特徴を以下に述べる。

同国の基盤は、先カンブリア系に属する片麻岩・花崗岩・片岩等で、その上に各地質年代の岩石が累積する。国土のほぼ中央部、首都サナの位置するサナ盆地北縁部や、順に南下してダマール、タイズ、アデン地区それぞれの周辺には、第四紀火山活動によって形成された玄武岩が広大な溶岩台地を形成している。しかも、この火山の分布は、明瞭な裂状火山の形態を示し、噴石丘は形成時の原型を保っているものが多い。一方、ティハマ低平地帯や砂漠地帯には風成砂を含む第四紀堆積層が広く分布しており、山地に近接した地域には扇状地堆積層が100mを超える厚層を見せるが、ワジ沿いに帯状分布を示す沖積層は、大半が5~10mの薄層である。

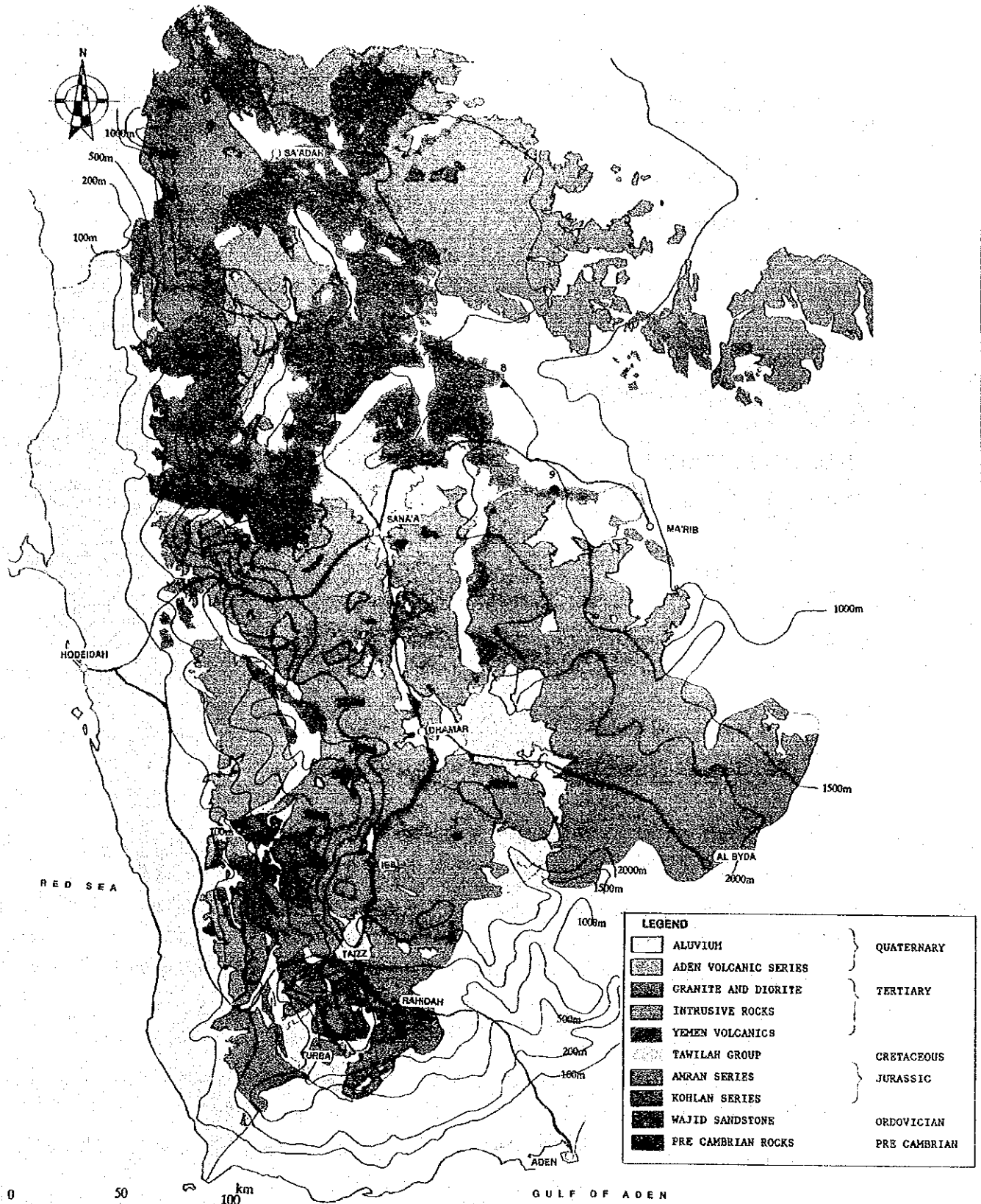
サナ以南の山地帯に広大な分布を見せる「イエメン火山岩」(Yemen Volcanics)は、2,000mを超す厚層で、多数の噴出源をもつ裂状火山であるため、その細分類は極めて困難であるが、最近これを6部層に分類する試みが行われている。いずれにせよ、この火山岩を噴出した火山活動は、中生代末期から第三紀にかけての汎アラビア的地殻変動に関わることは否定できない事実で、その末期には山間地の陥没盆地列を形成するにいたった(国土中央部の北から南へ、サナ→ダマール→ヤリム→イップ→タイズと連なるNW-10°の盆地列は、その好例である)。しかも、この盆地列を形成する断裂帯の方向が紅海の方向性と一致していることは、同国の地質構造-地形発達史解明のキーポイントとして重視すべきもので、次項で述べるように水理地質構造上も重要な意味を持っている。また、内陸部の第四紀火山もNS~NW20°方向の裂状火山であり、紅海入り口に面し「アフリカの角」と呼ばれるバーバル・マンガブ地域の第四紀裂状火山の方向性と一致している。このような裂状火山を形成した断裂系(Lineament)の存在は、アラビア半島-アフリカが断裂により分離拡大して、紅海が形成されたという仮説を支持する根拠の一つとなりうると考えられる。

表-3.3

イエメン共和国地質層序

地質時代			層序	層厚(m)	岩相
第四紀	完新世 (HOLOCENE)		第四紀堆積層 (QUATERNARY DEPOSITE)	5 ~ 100	風成砂, 砂, 砂礫
	更新世 (PLEISTOCENE)		第四紀火山岩 (QUATERNARY VOLCANICS)	100 ~ 500	スコリアを伴う玄武岩流 及び岩脈
第三紀	下部 中新世 (LOWER MIOCENE)		イエメン火山岩 (YEMEN VOLCANICS)	+2,000	玄武岩, 流紋岩, 粗面岩, 安山岩 (塔岩・岩脈及び 火砕岩, 凝灰岩)
	始新世 (EOCENE)		タイラー層群 (TAWILAH GROUP)	300	レンズ状礫岩を伴ない 頁岩互層を含む 斜層理粗粒砂岩
白亜紀					
ジュラ紀	上部 (UPPER)		アムラン層群 (AMRAN SERIES)	+ 600	石灰岩, マール, 砂岩を伴う頁岩
	下部 (LOWER)		コーラン (KOHAN SERIES)	300	砂岩および礫岩を伴う 緑色頁岩
オルドビス紀			ワジド・サンドストーン (WAJID SANDSTONE)	250	斜層理砂岩 場所により礫岩を含む
先カンブリア代			先カンブリア基盤 (PRE-CAMBRIAN SYSTEM)	不明	花崗岩, 片麻岩, 片岩, 珪岩, 頁岩, ペグマタイトを伴う 変成安山岩, 石英質岩脈

図-3.2 イエメン共和国地質図



No.	Project Site	No.	Project Site	No.	Project Site
1.	Iyal Qasim	6.	Al Usfyn	11.	Aflah Al Yaman
2.	Mahalat Najr	7.	Al Jabub	12.	Bait Al Sultan
3.	Khamis Bani Hajaj	8.	Majzar	13.	Al Thalsh
4.	Bani Afif	9.	Al Ghudu	14.	Al Mallaheeth
5.	Al Husha	10.	Ash Sharaq		

3.3.2 水理地質

「イ」国の地下水賦存は以下の2形態に分類される。

① 深層地下水

同国を構成する地層の大部分は第三紀、またはそれ以前にできた地層で、固結された堅い岩石となっている。したがってそれらには層状水は存在せず、地下水のほとんどは岩石や地層に形成された割れ目や断裂に沿って流動する「裂か水」である。しかし全ての断裂や割れ目に地下水が賦存するわけではなく、新しい時代に形成され、空隙が粘土分等により固結、閉塞されずに残り地下水が通過できるものみに存在する。今まで掘さくされた深井戸を検討すると、成功井のほとんどはNS~NW-20°系の断列や割れ目に沿ったもので、その方向性が紅海の方向性と一致していることは注目値する。この国における今後の深層地下水調査の有効な指針となる。しかし採水量が断裂帯の規模や降雨量、集水域により大きく変化することは言うまでもない。

第四紀系としては、ティハマ地帯からアデンに続く低平地には第四紀の堆積層が100mを超すところがある。この第四紀堆積層は未固結で透水性に優れているので、場所によっては有効な層状水が賦存しているが、一般に塩分濃度が高く、飲料水にならないことが多い。この種の地下水開発には地区全般の地下水流動方向を見きわめるため、地表水理地質踏査、物理探査、水質調査を含む精細な調査が必要である。

② 浅層地下水

ワジ底に帯状分布を示す砂~砂礫からなる第四紀堆積層を帯水層とする。この地層は、未固結で透水性に優れているが、層厚が3~5mと薄く、10mを超えところは少ない。したがって、本層を対象とした手掘り浅井戸は、乾期には地下水位の低下により、使用不能となるものが多い。また第四紀堆積層の下にある基盤岩の地表部風化多亀裂帯にも浅層地下水を賦存することが多いが、前者と同様乾期には水涸れするものがほとんどである。

本計画対象地区の地下水開発は、大半が深層地下水を対象とする。しかしNo. 6: A1 Usfyn では、地区内の地下水は水質の点で問題があるため、地区外のワジの伏流水を対象とする浅層地下水開発を計画している。

3.3.3 気象

「イ」国は北緯12° 30′ から17° 30′ に位置し、緯度の上からは熱帯～亜熱帯に入るが、国の大部分が標高 2,000mを越す高地であるため、低緯度の割合には涼しく、凌ぎやすい。しかし東西の幅が 300km足らずの狭い範囲で地形が極端に変わるため、地形区に対応して気候の相違も著しいが、一般的には5～9月には西ないし南西から湿った大気が流れ込み、中央山岳地帯にぶつかって西斜面に大雨をもたらし、雨期を形成する。10月から2月までの冬季は、中央アジア方面から乾いた大気が流れ込んで、乾期を構成する。

概略の降雨量分布は、本項(1)で説明した地形区分平面図と併せて、図-3.3 に示す。地下水を涵養する水の大部分が降雨水であることはいうまでもない。同国は、アラビア半島の他の国々に比べ、雨には恵まれているということができ、4～5月の小雨期と、7～9月の雨期がある。年間降雨量が最大の地区はイップで1,000mm/年を超える。また北部サダ州とハッジャ州の境界に600mm/年の多雨帯があり、これを結ぶ多雨帯は、中部山岳地帯の西側斜面に当たる。しかし、ティハマ低平地帯、アデン平野ならびに砂漠地帯では、100mm/年以下と少ない。したがって多雨地帯ではかなりの量が地下水に転化されるが、小雨地帯では蒸発散量が降雨量を上回る現象が生ずる。

次表に、各地形区分に応じた気温、降雨の特性をまとめる。

表-3.4 各地形区の気象特性

地 形 区	年平均気温 (℃)	年平均降雨量 (mm)
ティハマ低平地帯	—	—
西部山岳地帯	16 ~ 26	200 ~ 600
中央高地地帯	10 ~ 18	200 ~ 1,200
東部山岳地帯	16 ~ 24	100 ~ 400
砂 漠 地 帯	22 ~ 28	0 ~ 200

本計画対象地区は、大部分が山岳、高地地帯に含まれるが、No. 14: Al Mallaheethは、ティハマ平野の北端国境の町ハラダ (Harad) から北西方向山岳地帯に向かう道路上55km地点、標高 400mに位置し、山岳傾斜地の山麓丘陵地上にあるが、気候は年間を通じてティハマ平野の影響を受ける。また No. 9: Al Ghuduは砂漠地帯に位置し、乾燥気候の影響下にある。

なお、参考として、同国の各観測所における年平均降雨量と気温のデータを添付資料 II - e に示した。

図-3.3 イエメン共和国等雨量線図



SAUDI ARABIA

AR-RUB AL-KHALI

AL-HADRAMAUT

Wadi Jawf

Wadi Abma

Wadi Heib

Wadi Janah

AL-HUDAYDAH

Wadi Sawaen

Wadi Kina

Wadi Zabid

MARIB

MOCHA

Wadi Bana

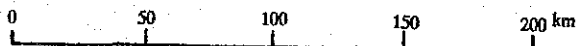
ADEN

GULF OF ADEN

No.	Project Site
1.	Iyal Qasim
2.	Mahalat Najr
3.	Khamis Bani Hajaj
4.	Bani Afif
5.	Al Husha
6.	Al Usfyn
7.	Al Jabub
8.	Majzar
9.	Al Ghudu
10.	Ash Sharaqī
11.	Aflah Al Yaman
12.	Bait Al Sultan
13.	Al Thaiah
14.	Al Mallasheeth

LEGEND

- TIHAMA LOWER PRESSURE ZONE
- DESERT ZONE
- HIGHLAND
- CENTRAL MOUNTAINS ZONE
- PRINCIPAL ROAD
- FRONTIER
- WATERSHED
- 200mm RAINFALL CONTOUR LINE



3.3.4 水質

「イ」国の伝統的な水源として、「シスターン」(Cistern)と呼ばれる天水溜めがあるが、10年ほど前までは地方集落の一般的な生活用水源であり、現在も利水条件に恵まれない山頂集落はもちろん、通常の集落でも雑用水源としては大いに活用されている。構造としては、集落低地に大きな凹地を掘り、周囲を石材、煉瓦、コンクリート等で固める。降雨があると地域の流出水がその中に流れこむ構造になっている。同国の地方集落にはほとんど下水設備がないため、人間、家畜の汚物もその中に流れ込む。このうえもない不衛生な水源であるが、部落に取っては依然として貴重な水源である。シスターンとともに一般的な手掘り浅井戸も、乾期には井戸底の溜まり水の利用となり、衛生面からは問題が大きい水源である。このような水利用のため、統計では水系伝染病が圧倒的に上位をしめ、すでに述べたビルハルツ住血吸虫がはびこる原因となっている。

このような水源に馴染んできた地方住民にとって、深井戸からの地下水はシスターン等と比較すればきわめて清浄な水であり、化学的成分は特に問題とされていなかった。しかし、先行する我が国援助による深井戸掘きくなどを通じて、同国の地下水水質の成分には以下の傾向が見られる。

① 硬度

全国的に高い。これは地質条件が石灰岩質に富むためと考えられている。

② 塩化物イオン

海岸地区の海水進入だけではなく、降雨が少なく蒸発散が大きい地区では地下水の塩分濃度が高くなる。今回調査地区でも、タイズ州 No. 6: Al Usfynの一部、対象外となったがマリブ州 No. 8: Majzalでは、600~800ppmの高濃度であった。

③ フッ素

フッ素は、先カンブリアン紀地質条件の地域で多くなる傾向があり、タイズ州はその一例である。

本調査では、これらの3項目を中心に、各対象地区の参考水源からの採水、現場簡易試験を実施すると同時に、同じサンプルを日本の公的水質検査機関にて精密検査した。その結果は表-3.5の通りであるが、硬度については、特定の地域を除いて大半のサンプルが同国の水質基準としているWHOの許容限度以下の数値を示し、新規開発の地下水も同様な値を示すことになると予測される。フッ素に関しては、No. 6: Al Usfynの一部ワジの深井戸水源等に高い数値があるが、全般的に問題はない。塩化物イオンについては、No. 6: Al UsfynとNo. 8: Majzalにおいて、特に高い数値が検出された。これによりNo. 6: Al Usfynについては、この地域における水源地確保を断念し、他地区に水源を求める結果となった。一方、No. 8: Majzarの場合は、地区周辺には適切な水源地がなく、候補としては砂漠地帯を約30km南下した山地寄りの地域となるため、水源地確保が困難な地区として本計画から除外する結論となった(詳細については、各論参照)。

表-3.5 計画対象地区水质分析一覧表

計画対象地区	採水場所	図面位置	採水区分	水温 ℃	pH (mg/l)	Cl (mg/l)	全硬度 (mg/l)	Ca (mg/l)	F (mg/l)	電気伝導度 (μ s/cm)
No.1 Iyal Qasim	Al Shutbah 私設井	W-8	地下水	26.0	7.1	25.1	265	159	0.5	597
No.2 Mahalat Najr	集落内私設井	W-7	地下水	26.8	7.3	80.9	366	244	0.5	885
No.3 Khamis Bani Rajaj	水道水源井	W-4	地下水	27.1	7.2	24.1	266	111	0.5	546
No.4 Bani Afif	浅井戸水源	W-7	地下水	28.0	7.1	41.1	357	167	0.5	805
No.5 Al Husha	Wadi Saela Al Sanagir	W-15	地下水	30.0	7.3	80.1	450	252	< 0.8	1,006
No.6 Al Usfyn	ラヒダ市水道水源井 Wadi Al Wabitrah Ash Sharraj ラヒダ市病院水源井	W-15 W-19 W-11 W-1	地下水 地下水 地下水 地下水	28.0	7.7	121.0	473	255	< 0.8	4,128
				32.0	7.1	574.0	460	356	2.3	3,292
				32.0	7.4	630.0	875	470	< 0.8	2,946
				28.0	7.4	485.0	975	575	0.8	2,064
No.7 Al Jabub	既設公共深井戸	W-2	地下水	37.0	7.5	76.2	71.6	66	0.8	808
No.8 Majzar	Darbu Al shraf 道路水道公社水源井 Ar-fardah Wadi Maraha	W-1 W-4 W-5 W-3	地下水 地下水 地下水 地下水	30.0	6.9	640.0	1,580	1,050	1.5	4,324
				30.0	7.0	864.0	1,620	1,250	< 0.8	3,293
				31.0	7.6	280.0	410	175	0.8	1,634
				30.0	7.5	625.0	975	775	0.8	2,072
No.9 Al Ghudu	既設公共水源井	W-1	地下水	26.6	7.0	88.3	578	289	< 0.8	1,546
No.10 Ash Sharaq	ワジ表流水	W-1	表流水 (湧水)	18.0	7.2	11.8	160	100	0.5	330
No.11 Aflah Al Yaman	既設公共水源井 Suq Ar Rubu	W-1 W-8	地下水 地下水	31.0	7.2	111.0	499	219	0.5	1,064
				32.0	7.4	68.6	185	90	0.5	953
No.12 Bait Al Sultan	Ar Rajam 既設公共水源井	W-8	地下水	21.0	7.0	8.6	112	81	< 0.8	285
No.13 Al Thajah	ワジ表流水	-	地下水	26.3	7.1	25.7	243	130	< 0.8	719
No.14 Al Malliaheeth	既設公共水源井	W-1	地下水	35.0	7.2	73.4	461	210	0.5	1,148
水质基準	W	H	O	7.0~8.5		400.0	500	75	1.0~1	2,000
				5.8~8.6		200.0	300	-	0.8	-

3.4 各対象地区の概要

3.4.1

地区番号	1	地区名	IYAL QASIM			
行政区分	県	Sana'a	郡	Dhi-bin	小郡名	Iyal Qasim
集落数	9	給水対象戸数	245	給水対象人口	1,500	
給水対象地区面積		7.5 km ²		給水人口密度	200 人/km ²	
主要収入源(比率)	一位 二位 三位	農業 出稼ぎ送金 —	(75%) (25%)	平均月収	3,000 Y. R.	
医療機関	病・医院	なし		教育施設	小学校	1
	医務員	なし			中学校	なし
	ベット数	なし			高等学校	なし
食堂・商店	9商店			モスク数	11	
買水状況	買水量	3,000ℓ / 10日 / 15人 : 20ℓ / 日 / 人				
	買水価格	600 Y. R. / 3,000 ℓ : 200 Y. R. / m ³				
	購入先	Khamar City (30km) 他				
水使用量	20ℓ / 日 / 人			備考		

(1) 既存水源・給水事情

本地区は、標高 2,450～2,500mの山頂緩斜地に散在する9村落から構成される副郡区(ワラ)を形成する。山頂集落周辺には本地区管轄のLCCDにより、深度30～250mにわたる7本の深井戸掘さくが試みられたが、いずれも実質的には空井戸であった。このうち微量の水が存在する2本の井戸は住民により利用されているが、採水量は一日わずか1～2m³、ポンプ運転時間は午前午後それぞれ約20分程度で水が濁れる。したがって、住民は東側山岳を降りたQa Shamsにある深井戸、または約5km西に位置する近隣集落のAsh Shutbahから買水する日常が続いている。本地区での買水価格は1m³が200イム・リヤル(約2,400円)で、平均的世帯の給水頻度は10日から2週間に1回程度であるから、毎月の経費は600イム・リヤル以上になり、平均月収が3,000イム・リヤルであることを考えると、大変な出費である。しかも、一世帯10人家族の場合、一人一日平均消費量は最大でも20ℓ、少ない場合は10ℓ程度である。それ故当地では、わずかな量であっても採水できる深井戸を最大限に利用している。

(2) 水理地質特性

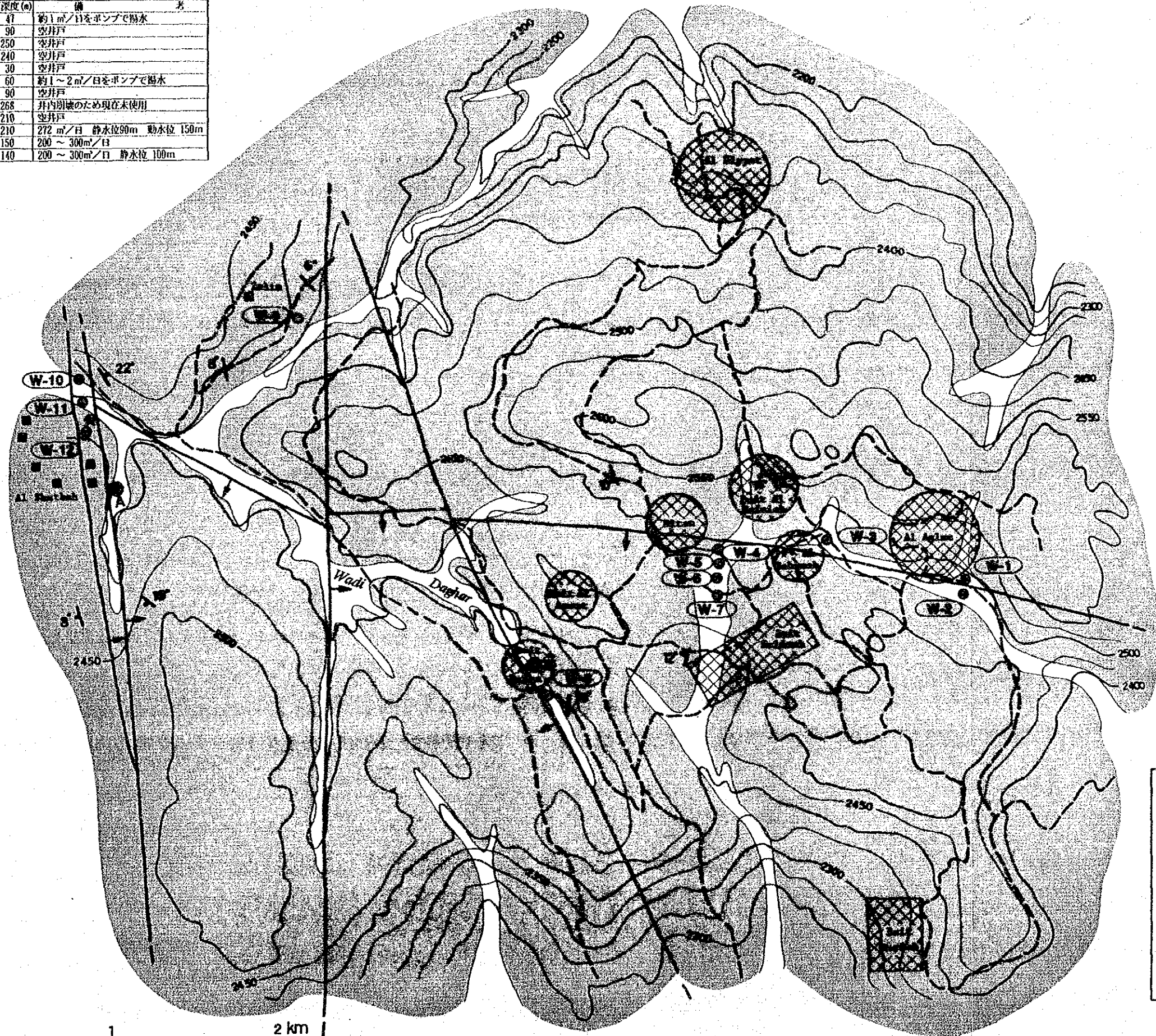
本地区が立地する山岳部東側山麓には、ほぼ南東流する断裂帯を開析してつくられた大規模なワジ、Qa Shamsがあって、3条の第四紀火山が並列して走る。本地区は、このQa Shamsより約600m高い山頂緩斜地に位置し、集水域も小さいため水利に恵まれない地域である。

本地区の地質は、上部ジュラ紀の7ムラ層群により構成され、石灰岩を主とし、7ルや薄い頁岩、砂岩をはさむ。地層の一般走向はNW-20°～NE-10°で、6°～15°西の傾斜を示すが、緩やかな褶曲構造を呈しているため、走向・傾斜は場所により若干異なっている。NS系とEW系の亀裂が発達している。地区を構成する3村落、Baitan-Bait Al Nafish-Al Agla'aを結ぶ地形変曲線に、EW方向で南落ちの正断層があり、一方Bait Daghar村西側のワジにはNW-10°方向の断裂帯が推定される。また本地区から、西方に約5km、比高差で約100m下った地点に位置するAsh Shutbah村には、NS～NW-10°方向の断裂帯が見られる。Ash Shutbah東側山地の西急崖部は断層崖と推定された。この線に沿って約50m間隔で深度140～210mの深井戸3井が建設され、ともに200～300m³/日の採水が行われており、Ash Shutbah村水道水源(RWSD建設)及び近隣部落への売水源となっている。

既存深井戸の状況から判断して、EW系、またはそれに近い方向を持つ断裂帯は古い時代に形成されたもので、破碎帯の有効間隙率が小さいため、地下水は賦存されない。一方、NS系の断裂は地質年代が新しく、破碎帯は有効間隙率に富み、有力な地下水の通路となっている。したがって、地区外ではあるが、Ash ShutbahのNS系断裂は地下水開発の適地となる。地区内ではBait Daghar村西側のワジに推定されるNW-10°方向の断裂帯も地下水開発の候補地となろう。同村で掘さくされた深井戸は深度268mで、地下水有りと報告されているが、井内下部崩壊で、現在は廃井となっている。

No.1 Iyal Qasim

井戸番号	井戸深度(m)	備	考
W-1	* 47	約1m/日をポンプで揚水	
W-2	* 90	空井戸	
W-3	* 250	空井戸	
W-4	* 240	空井戸	
W-5	* 30	空井戸	
W-6	* 60	約1~2m/日をポンプで揚水	
W-7	* 90	空井戸	
W-8	* 268	井内別荘のため現在未使用	
W-9	* 210	空井戸	
W-10	* 210	272 m/日 静水位90m 動水位 150m	
W-11	* 150	200 ~ 300m/日	
W-12	* 140	200 ~ 300m/日 静水位 100m	



凡 例

完新世		沖積層
ジュラ紀		アムラン層群
		断層帯
		地層の走向及び傾斜
		既存井
		新設井候補地
		水サンプリング
		対象地区内集落

3.4.2

地区番号	2	地区名	MAHALAT NAJR
------	---	-----	--------------

行政区分	県	Sana'a	郡	Amran	小郡名	---
集落数	1	給水対象戸数	200	給水対象人口	2,000	
給水対象地区面積	3 km ²			給水人口密度	667人/km ²	
主要収入源 (比率)	一位 二位 三位	給与賃金所得 農業 出稼ぎ送金	(60%) (35%) (5%)	平均月収	5,000 Y. R.	
医療機関	病・医院	なし (Amran市の病・医院)		教育施設	小学校	なし
	医務員	なし			中学校	"
	ベット数	なし			高等学校	"
食堂・商店	なし		モスク数	7		
買水状況	買水量	2,000 ℓ / 10日 / 15人 : 27 ℓ / 日 / 人				
	買水価格	200 Y. R. / 2,000 ℓ : 100 Y. R. / m ³				
	購入先	Amran City 他				
水使用量	40 ℓ / 日 / 人			備考	Amran 市の学校に通学	

(1) 自然・水源環境

本地区は、首都サウジアラビア北方50kmに位置するサウジアラビア有数の都市アマランに至近距離にある。本地区の西方約3km地点には、石灰岩で構成される山地裾野に、我が国の技術で建設されたアマランセメントプラントがある。同国において、アマラン市周辺から広域に分布する石灰岩は地質年代ツラ紀に形成されたもので、特に当地域の名称を冠して「アマラン層」(Amran Series)と名付けられたが、本地区の集落は、このアマラン層上に不整合に乗っている第四紀火山岩丘陵に位置する。都市郊外にある集落の立地条件から、住民は農業よりはサラリーマンが多く、本計画対象地区の中では特殊なサイトである。集落電力は、首都サウジアラビアから電力網が延びているアマラン市から分電供給されているが、水道については、アマラン市そのものが3井の深井戸に依存し、余裕がないため、本集落まで恩恵が届いていない。そのため、富裕な住民は個人資金により、地区内ワジにいままで深井戸を8井掘さくしたが、このうちWadi Najr No.2に掘った2本が成功井となった。本井はリボルバー型ポンプを設置し、主として住民の生活用水のほか畑地灌漑用として利用されているが、集落住民の多数は、本井やアマラン市周辺の私設井から買水している。距離も近いので、売水価格は100リットル・リットル/m³(約1,200円)で、他の山岳地区に比べればほぼ半額である。

(2) 水理地質特性

本地区は第四紀火山岩で形成された火山性丘陵地で、西側はアマラン層群で構成された山地とWadi Hosermeilで接している。地域内にはWadi Najr No.1とその支流であるWadi Najr No.2が北流している。地域を構成する第四紀火山岩類は、第四紀火山活動の初期に噴出された玄武岩溶岩流で、下位のアマラン層群とは明瞭な不整合で接している。この玄武岩溶岩流は黒色緻密な堅い玄武岩溶岩と、やや多孔質な部分とが混じり、場所によっては自破碎の部分も認められる。また、1cm程度の厚さの火山灰敷層を含む厚さ2m位のスコリア層をはさむ。NS方向とEW方向のクラックが多数見られ、Wadi Najr No.1, No.2はNS~NW20°系の構造河川である。既存井の状況から判断して、地下水が賦存する断裂系はNS~NW-20°系で、EW系またはこれに近い断裂系には地下水は賦存されない。このことはWadi Najr No.2系の成功井2井がNS系の断裂系に位置していることから明かであろう。この成功井は一日約12時間400~500ℓ/分を連続運転しており、水量豊富である。したがって、公共水源井の掘さくはこの断裂系を対象に位置選定するのが妥当である。

3.4.3

地区番号	3	地区名	KHAMIS BANI HAJAJ
------	---	-----	-------------------

行政区分	県	Sana'a	郡	Thila	小郡名	Khamis Bani Hajaj	
集落数	7		給水対象戸数	510	給水対象人口	5,400	
給水対象地区面積			8 km ²		給水人口密度	675人/km ²	
主要収入源 (比率)	一位	農業	(50%)	平均月収	2,000 Y. R.		
	二位	給与賃金所得	(40%)				
	三位	出稼ぎ送金	(10%)				
医療機関	病・医院	PHC 1 (4 km離れた郡都Thilaに病院あり)			教育施設	小学校	1
	医務員 ベット数	准医師1、看護員1				中学校	なし
		なし				高等学校	なし
食堂・商店		なし			モスク数	15	
買水状況	買水量	3,000ℓ/30日/15人 : 7ℓ/日/人					
	買水価格	130 Y. R./1,000 ℓ : 130 Y. R./m ³					
	購入先	近傍のWadi					
水使用量	7ℓ/日/人			備考			

(1) 自然・給水環境

本地区は、首都ワドの北東50km地点に位置する郡中心地、ツィラ(Thila)市から、さらに北へ4km離れた7ムラ層石灰岩の高地緩斜地に散在する7集落から構成される。ツィラ郡には全体で75ヶ村あるが、本地区はそのうちの12村で副郡区(ウツラ)を構成し、給水計画はこの副郡区内の7村を対象とする。郡都ツィラ市自体も水源に恵まれず、約10km南下したシバム市(Shibam)の水道から分水してもらっているが(本事業はRWS Dにて実施された)、本地区も水利に恵まれず浅井戸もまったくなく、集落内に作られた天水溜めが唯一の雑用水源となっている。したがって、全住民が、飲料水は買水に依存せざるを得ない状況である。

自然条件に恵まれない本地区内には適切な水源候補地はないが、本地区を東流するWadi Dayyanの約10km下流に隣接する他副郡区に入ると、ワジ兩岸の集落、Qaryat al Astah、Al Qaryataynでは、水量豊富な深井戸水源が4井あり、集落自治体により建設された公共給水施設が存在する。公共水源井は5年前建設され、深度220m、ベルト掛けポンプ・ホール型ポンプを地下170mに据え付け3"配管により約500ℓ/minの揚水が可能である。この地域の他井もほぼ公共水源と同様の成績であり、住民は豊富な地下水を利用し、すももなどの果樹栽培に乗り出している。

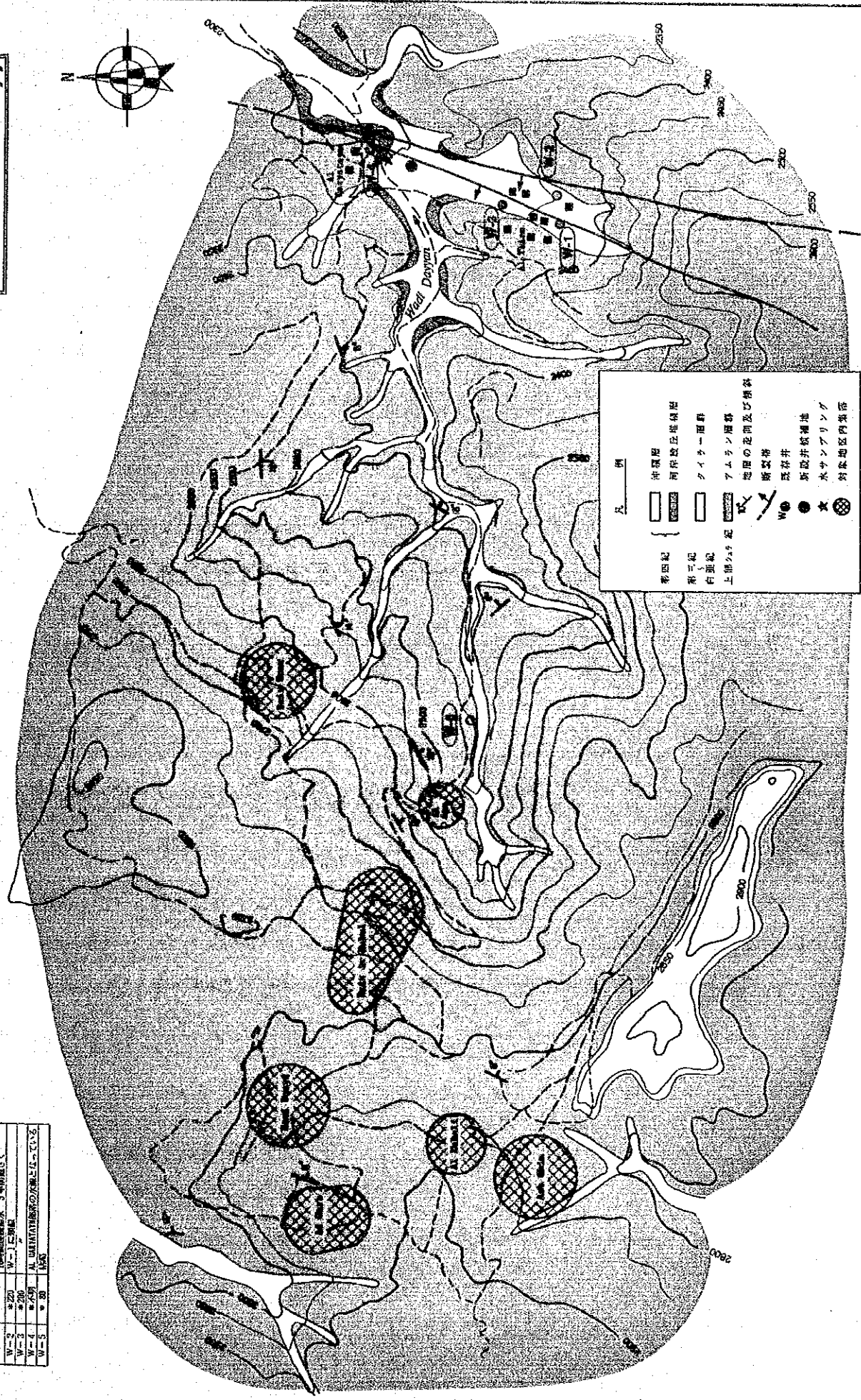
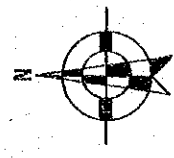
本地区は、対象地区外の他地区に属するWadi Dayyan下流域に水源を求める必要があり、LCCDの協力と調整が必要であるが、調査時点でその見通しがついた。

(2) 水理地質特性

Wadi Dayyanの左岸にある東に緩く傾斜する高地緩斜地に位置する本地域は、7ムラ層群の石灰岩によって構成され、地域北西部には、7ムラ層群を不整合に覆う白亜紀～第三紀にかけての「ツィラ層群」の砂岩層がわずかに分布している。本地区に分布する7ムラ層群は、緩やかな波浪状微褶曲構造を示すが、断層やクラックは極めて少なく、山頂緩斜地には既存井は皆無できわめて水利に恵まれず、住民の飲料水はすべて買水となっている。

しかし、地域東方、Wadi Dayyan下流集落には、NE10°系の断層帯があり、この線上に深井戸4井が掘さくされ、各々約700m³/日の採水に成功している。この断層帯は、幅50～60mの破碎帯を伴い、この部分が地下水の有力な通路となっている。したがって、本地域での地下水開発はこの破碎帯以外には考えられない。

No.3 Khamis Bani Hajaj



凡 例

- 第四紀
 - 沖積層
 - 同成砂丘堆積層
- 第三紀
 - クイラー層群
- 白亜紀
 - アムラン層群
- 上部カース
 - 地層の走向及び傾斜
 - 断層線
 - 既設井
 - 新設井候補地
 - 水サンプリング
 - 対象地区内帯管

井名	井深(m)	層	層名	層厚(m)	層位
W-1	220	第四紀	沖積層	10	10
W-2	220	第三紀	クイラー層群	10	10
W-3	200	白亜紀	アムラン層群	10	10
W-4	250	白亜紀	アムラン層群	10	10
W-5	200	白亜紀	アムラン層群	10	10

3.4.4

地区番号	4	地区名	BANI APIF
------	---	-----	-----------

行政区分	県	Taizz	郡	Turbat Al Mawasit	小郡名	Bani Hamad
集落数	9	給水対象戸数	900	給水対象人口	7,300	
給水対象地区面積		14 km ²		給水人口密度	521人/km ²	
主要 収入源 (比率)	一位 二位 三位	農業 給与賃金所得 出稼ぎ送金	(50%) (45%) (5%)	平均月収	2,200 Y. R.	
医療機関	病・医院	PHC 1		教育施設	小学校	4
	医務員	医師2、看護員3			中学校	1
	ベット数	30			高等学校	なし
食堂・商店	なし		モスク数	10		
買水状況	買水量	2,000ℓ / 15日 / 15人 : 19ℓ / 日 / 人				
	買水価格	200 Y. R. / 2,000 ℓ : 100 Y. R. / m ³				
	購入先	近傍のWadi 他				
水使用量	50ℓ / 日 / 人			備考		

(1) 自然・給水環境

本地区は、紅砂火山岩山地とこれを下刻するワジが形成する複雑な地形の中に拡散している集落体である。山地を取り巻くワジ低平地には、多数の浅井戸、また深井戸が設置され、住民の生活用水、灌漑用水として利用されているが、9年前R W S Dにより掘さくされた本地区公共給水施設用の深井戸2本は、山岳居住地までの送水施設計画の用途がたたず、現在密閉されたまま使用されていない。

本地区の主要なワジの一つ、Wadi Ash Shaykhには、上記公共水源井1本を含めて4本の深井戸が掘さくされているが、現在使用中の井戸は1本だけである。主として灌漑に利用されている本井は、500 ℓ/min以上の水量を一日16~20時間連続揚水ができる。この灌漑用井戸に近接して掘さくされた公共水源は、完成時点、約1,000 ℓ/minの揚水量が得られたと報告されている。一方、他の公共水源井はWadi Ash Shaykhと合流するWadi Adanの上流Wadi Bani Suwamahに掘さくされたが、2年前、農水省「南部高地開発公社」により揚水試験が実施された後、密閉蓋が完全でなく、井戸内部に投石されたため、現在地下30mに石が詰まっているのが発見された。この井戸を本計画に使用するためには、改修工事により投石を取り除かなければならない。現在主として、本地区住民が生活用水に利用する水源はWadi Ash Shaykh公共水源の上流にある浅井戸で、深度は数mであるが、水質は飲料に適し、乾期にも水涸れがない。しかし、このように一年を通じて採水出来る浅井戸は、水理地質条件の有利な地点に限られており、各所にある多数の浅井戸は乾期には水位が低下して、利用できなくなる。したがって、ワジから遠方の山岳地住民は、本井や他の利用できる浅井戸から買水して、飲用水としている。

(2) 水理地質特性

地域の大部分は、白亜紀~第三紀にかけて活動した紅砂火山岩によって構成され、玄武岩や流紋岩の溶岩流を主として、安山岩質溶岩をはさむ。火山砕屑岩やまれに泥岩をはさむこともあり、長石斑晶の顕著な含橄欖石玄武岩溶岩(厚さ2~5m)を1層はさみ、鍵層として追跡ができる。また広域にわたって玄武岩岩脈が分布し、あるものは延長6kmにも及ぶ。この岩脈は紅砂火山岩活動末期の進入になるものと考えられる。NW20~30°系とNE50°系の断裂帯がよく発達し、中には幅30mにも及ぶ破碎帯を伴うものがある。しかし、既存深井戸資料から判断すると、地下水はNW20~30°系の断裂破碎帯に賦存していることが判る。中でも本地区の行政的(郡)境界の西端、すなわち隣接する他郡に属するAl Mashahid村の東側を走るNW20°方向の断裂帯がもっとも有望であり、既存公共水源井1号井は、この地域の境界線ぎわに掘さくされている。

ワジ底に帯状分布を示す沖積層や紅砂火山岩の地表部風化多亀裂帯には、浅層地下水が賦存しており、深さ5~10mの手掘り浅井戸が多数分布している。しかし、これら浅井戸は、乾期には地下水位の低下により、採水困難となるものが多い。

3.4.5

地区番号	5	地区名	AL HUSHA
------	---	-----	----------

行政区分	県	Taizz	郡	Al Hussha	小郡名	---
集落数	対象約30 (全60村)	給水対象戸数	1,200	給水対象人口	13,000	
給水対象地区面積		120 km ²		給水人口密度	108人/km ²	
主要 収入源 (比率)	一位 二位 三位	農業 出稼ぎ送金 給与賃金所得	(40%) (40%) (20%)	平均月収	1,600 Y. R.	
医療機関	病・医院	PHC 1		教育施設	小学校	13
	医務員	医師1、看護員3			中学校	3
	ベット数	10			高等学校	2
食堂・商店		数商店		モスク数	20	
買水状況	買水量	400ℓ / 5日 / 15人 : 5ℓ / 日 / 人				
	買水価格	400 ~ 600 Y. R. / m ³				
	購入先	近傍のWadi 他				
水使用量	7.5ℓ / 日 / 人			備考		

(1) 自然・水源環境

本地区はタイズ州の一郡で、全域は旧南イエメン国境沿いに聳える山塊と北側ワジ平地により構成される。標高約 1,100m のワジ平地は、イフ州の山地に源を発し南流してアブン近くまで到達する Wadi Tuban の上流部にあたり、本地区では一般的に Wadi Yarakh と呼ばれている。年間を通じて流量の差はあるが表流水を持ち、ワジ平地の灌漑、生活用水だけでなく、山地集落の売水源ともなっている。郡全体では約 60ヶ村の集落が存在するが、郡管轄 L C C D の要望では、給水対象は、ワジ平地に面し、比高差 600~ 1,200m の急崖で屹立する山塊の中腹と南側斜面に散在する約 30ヶ村である。山塊は頂点に標高 2,400m の Al Husha 山があり、郡都ドラン(Zuran) は標高約 1,800 m の山腹にある。

このような自然環境下、給水対象の山岳地には安定した水源がない。郡都ドランには、凹地に深度 22~23m の手掘り浅井戸 7 井が存在するが、湛水深は 20cm 前後しかなく、まったくの濁水であるが、それでも雑用水として住民の利用の対象になっている。雨期には数 m 水位が上昇し、活用度が増大するということがあったが、ドランの PHC (Primary Health Center) 医師の指摘によると、このような溜まり水の利用がビルハツ住血吸虫蔓延の主原因である。一方、当山地における売水価格は 400~ 600 イェン・リヤル/m³にも達する。

山塊の北側に面するワジ平地には、Wadi Al Qula と Wadi Yarakh 合流点に、L C C D が 1986 年、山地集落用公共水道水源として掘さくした深度 165m、265m の深井戸 2 本が現存するが、送水施設の規模が大きすぎるため、密閉放置されたままである。

一方、山塊南側山地斜面を下刻するワジに沿って、集落単位に浅井戸が作られているが、下流部は比較的條件がよくなり、乾期にも時間を限ってポンプ揚水が可能となる。主要ワジは、Wadi Misma と、隣接するマフイ郡との境界をなす Wadi Sanat As Sanajir であるが、後者に沿っては、両ワジ合流点の集落 Suq Al Khamis まで、深度 20~30m の 6 井が見られ、乾期でも数時間ポンプ運転が可能で、集落の生活用水、灌漑用水に利用されている。

Suq Al Khamis 周辺は、山腹を南下するワジにより山間平地を形成しているが、ここに「南部高地開発公社」による本郡西部集落給水事業の水源(浅井戸)がある。全体の給水施設は、この浅井戸水源(標高 1,400m) から As Suhayy 村(同 1,670m) の増圧ポンプ場 180m³水槽に圧送し、さらにこのポンプ場から、ドラン市西部 Al Midawwar 集落近くの丘陵上(標高 1,940m) に設置した 200m³配水槽まで圧送する構成となっている。しかし本水源は深度が十分でなく、乾期に水が涸れ使用不可能となるため、現在運転休止されており、延長 5 km を超える送水管を含め全体が遊休施設となっている。

本地区で水に困窮する地域は、山腹から山上まで拡散する集落群で、その給水範囲は、およそ、120 km を超えるものとなる。L C C D によると、なかでも特に水に困っている地域は、本郡東部にあたる Al Husha 山頂の南東部後背斜面の集落群ということであった。

(2) 水理地質特性

本地区は、Wadi Al Qulaの南に聳える標高 1,600～2,400mの山地頂上緩斜地で、北側斜面は平均 1/2.2の急勾配を示すのに対し南斜面は1/16と緩で、分水嶺が極端に北に偏した非対象的地形を示す。ワジには、北流するものと南～南西流するものがあり、前者は流路が約3 kmと短い、谷勾配は 1/3～1/4と急である。一方、後者は谷勾配が緩で、流路が長い。

地域は、火山初期活動によって噴出された成層火山岩類によって構成され、ワジ底には沖積層が帯状分布を示すもののその層厚は最大でも4 mをでない。成層火山岩類は暗灰～黒色を呈する玄武岩溶岩を主とするが流紋岩や安山岩の溶岩も随所に見られ、火山碎屑岩や緑色凝灰岩をはさみ、時には赤褐色を呈する部分もある。小規模な不整合面が随所に見られ、この火山活動がきわめて長期にわたったことを示唆している。水平ならびに垂直方向に層相の変化が著しい。地域北方Wadi Al Qula近くにある小山塊Jabal YarakhやJabal Al Hididahは玄武岩で構成される円錐形火山の名残りである。

本地域には、NS～NW10°系とNE30°～50°系の断裂帯が認められる。後者の破碎帯は粘土で詰まっており、地下水が流動し難いが、前者のそれは有効間隙率に富み、地下水の流動が容易である。したがって、水道水源としての深井戸はNS～NW10°系の断裂破碎帯に候補をたてなければならない。

