

# 北イエメン地方水道計画パートⅡ 事前調査報告書

昭和54年3月

国際協力事業団



JICA LIBRARY



1051224[2]

国際協力事業団

受入 月日	584. 8. 22	316
登録No.	13500	61.8
		SDS

## は し が き

日本政府は、北イエメン国政府の要請に応え、同国に対する地方水道計画調査を行うことを決定し、その調査は国際協力事業団が実施することとなった。

事業団は筑波大学地球科学系、新藤静夫助教授を同調査団長とする5名の事前調査団を昭和53年11月27日から、同年12月17日まで現地へ派遣した。

今回の事前調査は北イエメン国が要請する14サイトについての水源確保、給水状況を概査し、プロジェクトの規模及び内容について概略検討を行い、次に実施する本格調査が円滑かつ効果的に進められるよう、北イエメン国政府と協議を行い、Scope of Work を取り決めることを主目的としたものである。

事前調査団は現地概査の結果、14サイトのいずれの地区も生活用水の確保に窮し、早期実施を切望していることを確認した。

本報告に基づき北イエメン国の期待に応え、今後の協力が早期に成されることと、本格調査を立案検討し、かつ実施するに際して参考となることを期待する。

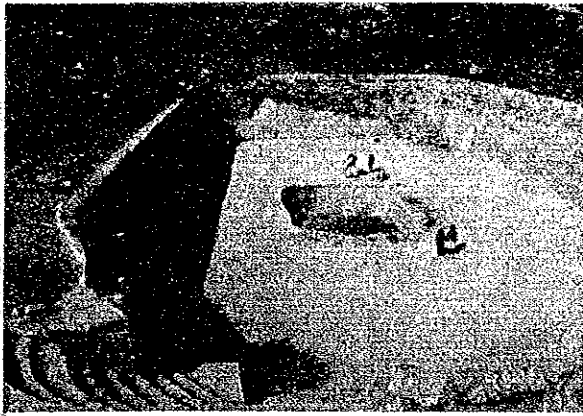
おわりに、今回事前調査の実施にあたり、多大なる御協力をいただいた、北イエメン国政府、在イエメン日本国大使館、ならびに関係各機関に対して厚く御礼申しあげる次第である。

昭和54年2月

国際協力事業団 社会開発協力部長

広 田 孝 夫





Mahweet 市のシスターン（溜池）  
（調査資料No.4 地点）



Bajil 市の北方  
Tihamah 平原に普通にみられる浅井戸  
（調査資料No.5 地点）



Al Sehman 付近のシスターン  
（調査資料 No.23 地点）



At TurよりHajjahへ  
行く途中でみたワジ中で  
掘さく中の浅井戸



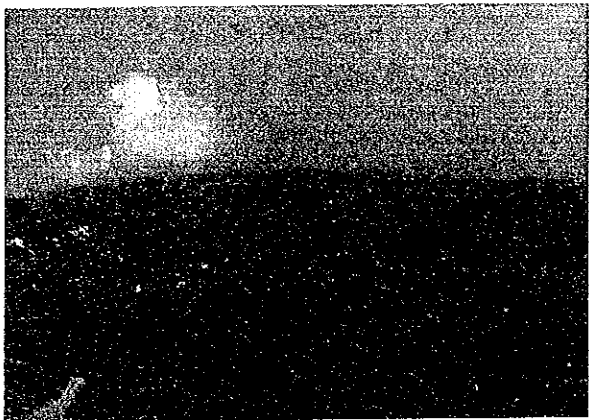
Sanaa 市西方  
Matnah 付近のシスターン



Hajjah 市の水源  
番兵（左はじ）が監視している  
（調査資料 No.9 地点）



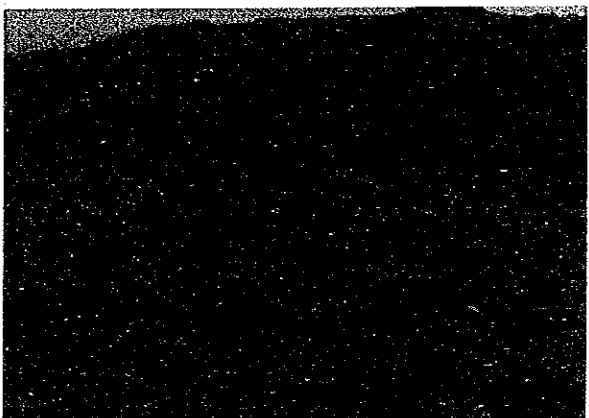




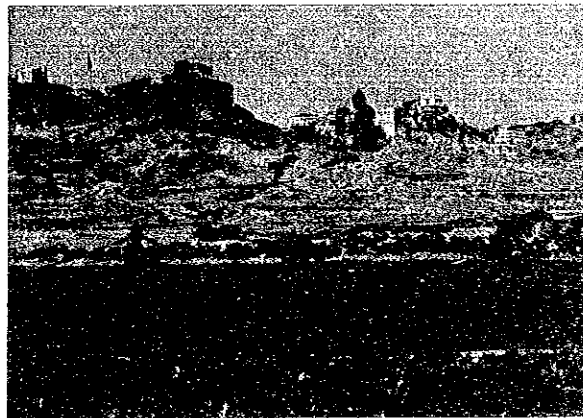
Mahweetを南方より望む  
点在する集落の立地状況に注意  
いずれも小ピークの上にある



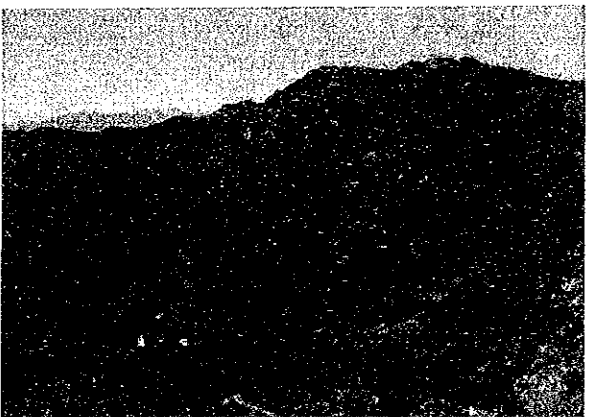
Hajjah 市より西方を望む  
山地は花崗片麻岩より成る



Sanaa 市西部  
Al Khamis 付近



Bayt Al Ashwal 付近  
の小さなワジ  
(調査資料 No.21 地点)



Ibb 市南方  
集落の立地状況に注意



Mahweet への道  
河道がそのまま道路となる  
雨期は通行不可能となる



# 目 次

はじめに

第一章 序 論 .....	1
1. プロジェクトの背景 .....	1
1) Y.A.R. の自然と人文 .....	1
2) Y.A.R. における利水の現況とプロジェクト決定の経緯 .....	6
2. 事前調査の目的と実施経過 .....	10
1) 調査の目的及び内容 .....	10
2) 調査団の構成 .....	11
3) 調査団の行動記録 .....	11
第二章 本 論 .....	14
1. Y.A.R. の水資源区分 .....	14
1) 水資源区分の基本的考え方 .....	14
2) 水文地理区分 .....	14
3) 地形区分 .....	27
4) 水文地質区分 .....	30
5) 総 括 .....	38
2. Y.A.R. における水施設の現状と問題点 .....	48
1) 水利用の背景としての土地利用の特徴 .....	48
2) 水利用の地域的特徴 .....	49
3) 泉、天水、池を水源とする水利用の状況と問題点 .....	58
4) 浅井戸（人、畜力による揚水）の状況と問題点 .....	62
5) 浅井戸（ポンプ揚水）の状況と問題点 .....	62
6) 深井戸および遠距離水源浅井戸の状況と問題点 .....	65
7) Y.A.R. における水利用慣行 .....	69
3. プロジェクト対象地域の詳細 .....	77
1) Mahweet .....	77
2) Kulai fah .....	78
3) Al Selo .....	78
4) Bayt Al Ashwal .....	79

5) Al Sehman .....	80
6) そ の 他 .....	81
4. 本格調査の方針 .....	92
1) 本格調査の基本的考え方と留意点 .....	92
2) 水源とその判定材料 .....	94
3) 基礎的調査のとりまとめ .....	96
4) 水源調査 .....	97
5) 人文地理学的調査 .....	99
6) 水供給、水保全システムの調査 .....	101
7) 水道計画の策定 .....	101
第三章 勧告、提言 .....	103
第四章 付 章 .....	106
1. Minutes of Discussion .....	106
2. Scope of Work .....	107
3. Organization for Ministry of Public Works and Municipalities .....	111
4. Organization of Yemen Arab Republic Government .....	112
第五章 資 料 .....	113
1. 現地調査資料 .....	116
2. 現地道路状況 .....	139
3. 人文地理に関する統計資料 .....	142
4. 参 考 文 献 .....	157

## 第一章 序 論

### 1. プロジェクトの背景

#### 1) Y. A. R. の自然と人文

##### a. 自然地理

イエーメン・アラブ共和国（以後 Y. A. R. と略称する）はアラビア半島の南西部に位置し、西は紅海をはさんでアフリカ大陸と対峙し、北と東はサウジアラビア、また南はイエーメン民主人民共和国と接している（図 1）。国土の面積は、135,000 Km<sup>2</sup> で、我が国のおよそ  $\frac{1}{3}$  である。

さて、アラビアという言葉から我々はまず広大な砂漠を思い浮かべるが、当国はむしろ山国といった方が良く、標高 3,000 m を越える山脈が紅海に平行にほぼ南北に連なり、当国を大きく東西に分つ分水界となっている。さらに地形上の特徴を東西断面によって細かくみると、およそ図 2 のようであって、上記の中央山脈を境いに極端な非対称形をなしているのに気がつく。即ち西斜面はアルプス山脈に勝るとも劣らない急峻な地形を示すのに対し、東斜面は高原状をなし、更に東に進むと広大な Rub Al Khali (Rub Al Khali) 砂漠が広がっている。

此の様な地形上の特徴はまたこの国の気象条件に強い影響を及ぼしている。即ち冬期には大気の流れはアラビア半島内陸部から紅海方向であり、乾き切った空気が当国全土を覆ってしまう。しかし夏期には紅海から湿った空気が流れ込み、山脈の西側では場所によっては年間 800 mm に達する降雨に恵まれることになる。<sup>\*</sup>

しかし国土全体としては、年間を通じて雨量は一般に少なく、またその時期も顕著な片寄りがみられ、雨期、乾期の差が明瞭であっていわゆる準乾燥地域の特徴を示す。

当国はまた北回帰線の南、北緯 13° から 17° 30' に位置しているにもかかわらず、国土の大部分が亜熱帯～温帯性気候下にある。特に中央分水嶺の付近では朝晩はすずしく、時に積雪をみることもあるという。

##### b. 地 質

地質については後に詳述されるが、図 3 によってその概要を説明しておく。

アラビア半島は元々東部アフリカの盾状地の一部であったものが白亜紀の終りごろから第三紀のはじめにかけて、分離したものだと考えられている。紅海はその裂隙で、いわゆるリフトバレー (Rift Valley) といわれているものに相当する。第三紀以後、このア

---

<sup>\*</sup> 今日、山地の大半は灌木が点在する秃山に近い状態であるが、現存する古い建築物 (モスク) には巨木が用材として用いられ、また各地に大きな切り株が見出だされるという。このことから、地中海世界と同様、人間による伐採が進む以前には立派な森林が広がっていたと考えられている。

図1 イエメンアラブ共和国の位置

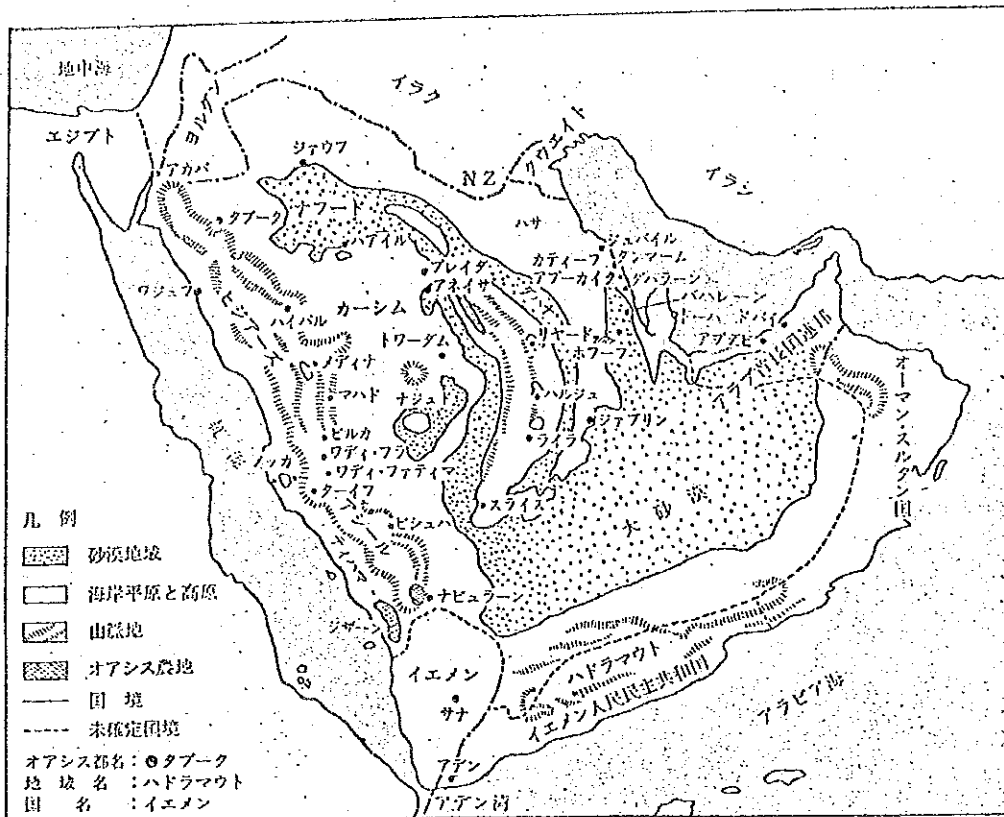


図2 代表的な7河川(wadi)の縦断面図(Schoch, 1977による)

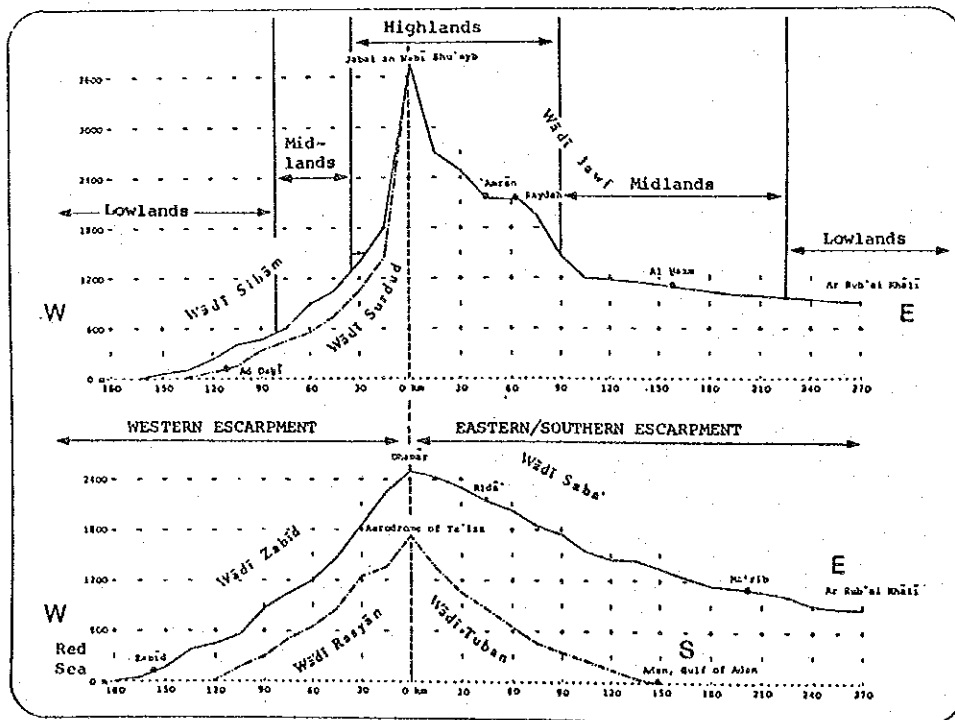
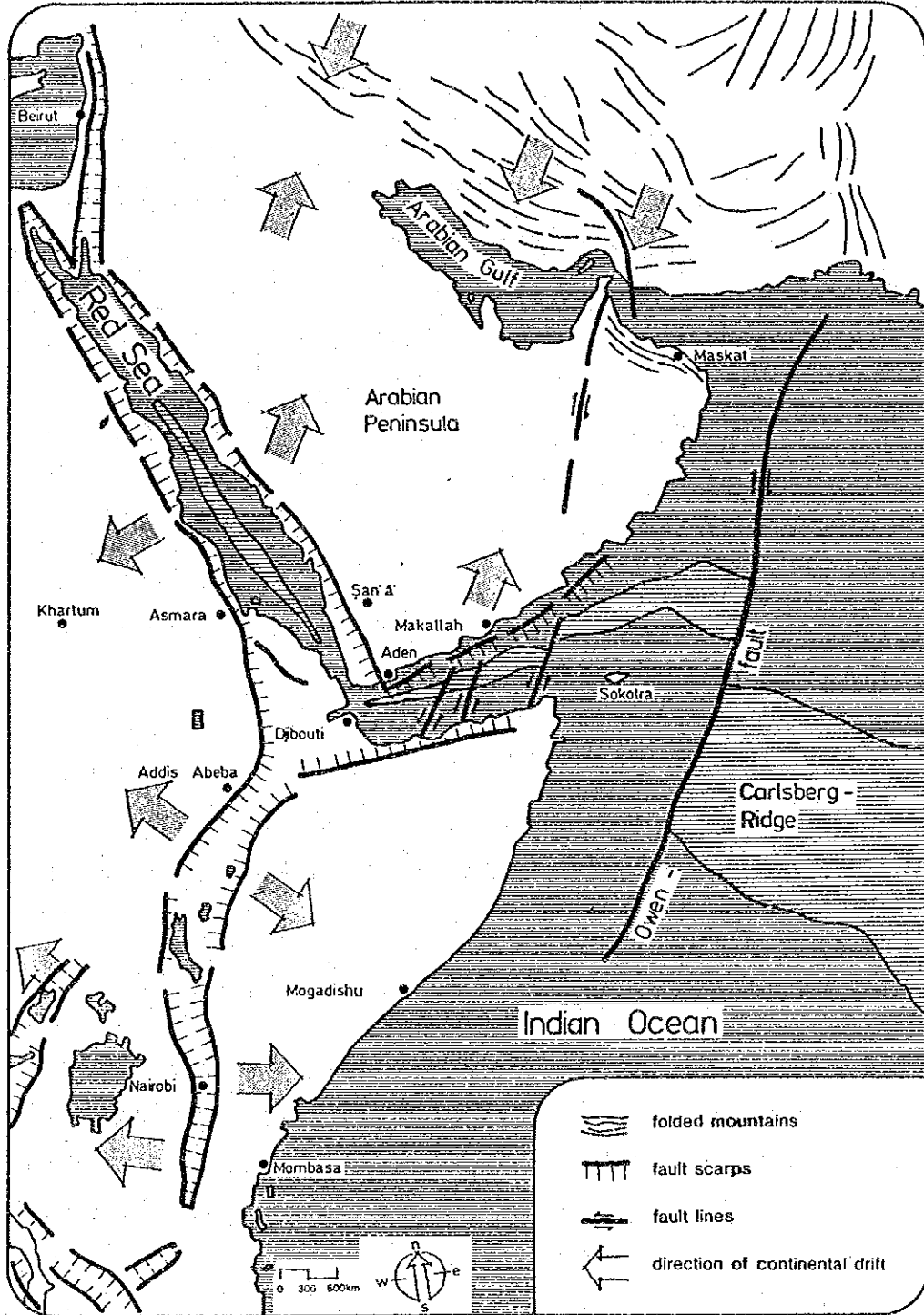


図3 アラビア半島の地質構造概念図

( Bodechtel - Gierloff - Emden 1970より )



ラビア半島盾状地は北東方向に移動を続け、これとともに褶曲あるいは落差数1,000 mに達する断層等の構造運動が激しく行なわれ、山脈の形成とそのブロック化が進んだ。

現在みられる紅海あるいは南のアデン湾に面した不規則な階段状の地形とそれらを限る急峻な絶壁で特徴づけられるいわゆるホルスト(Horst)やグラーベン(Graben)、山間の陥没盆地等の形成はおもにこの時期に行なわれたものである。

当国の基盤をなす先カンブリア系の地層の上位にはカンブリア系以降の各地質時代の地層が覆うがもっとも特徴的なのは、上記の造構造運動に伴って噴出した大量の火山岩類である。GEUKENS(1966)とWISSMAAN(1966)はこれを一括してTrapp seriesと呼んだが、そのうちGROLIER(1976)は新しくこれをYemen volcanicsと呼んだ。この地層は厚さは1,500 mを越え、Y.A.R.の中央部、西部、また南部に広く分布している。

#### c. 歴 史

さて、つぎにY.A.R.の歴史を概観してみよう。この国は古来「幸福のアラビア(Arabia Felix)」とも呼ばれ、750-115 BCとされているシバ(Saba'a)王朝以来、数代の王朝が栄えたという。1546年以來、前後2回にわたるオスマン・トルコの支配、あるいは英国のアデン占領と南北イエメンの分裂などが行なわれ、以後しばらく、国家としての発展が停滞して来たといえる。1918年、イスラム教シーア派のサイド派の教主(イマーム)たるヤフヤーが立って王となり、外国の支配を駆逐してようやく独立したが、彼は外国の影響を恐れて鎖国政策をひいた。これは1948年の革命勃発まで続いたが、このことは一方において当国の近代化をいちぢるしく阻害するものとなったといわれている。

#### d. 国 情

革命の勃発ののちも王制派と共和制派との間の抗争が続き、1968年にいたってようやく内乱が終結し、現在にいたっている。

このような経過はあたかも我が国の幕末から明治にいたる国情と相い通ずるものがある。

たとえば国家の支配体制も完全には安定しているとはいえず、中央政府は部族間の勢力均衡の上に立っているといった現状や、地方によってはまだ部族支配の方が強いといった状態、更には時々くりかえされる大統領の暗殺等、生々しい事件も起っている。

この様な国内事情に加えて、当国は西側自由諸国と東側共産圏の国々の影響の接点にあるともいえ、今後しばらくは迂余曲折の道をたどるものと思われる。

現在の行政区は総数10州に分かれており、つぎの様になっている。

1. Sana'a	20,310 Km <sup>2</sup>	4. Sa'dah	12,810 Km <sup>2</sup>
2. Taizz	10,420	5. Hajjah'	9,590
3. Al Hudaydah	13,580	6. Al Mahweet	2,160



7. Ma'rib	3 9,890 Km <sup>2</sup>
8. Dhamah	8,870
9. Ibb	6,430
10. Al Bayda	11,170

#### e. 国民性

この様な当国の歴史及び国情と、急峻な山岳地帯を主とするきびしい自然環境はこの国の国民性を理解するのに重要なファクターとなる。

即ち、主要都市を除いて地方の集落は全国に様に散在し、その数は14,000余に達するといふ。一集落の人口は1,500~3,000人で、おもに山岳地帯の峯々に孤立していることが多い。

高い山のない東部でも、家屋の一軒一軒が高い防壁によって嚴重に囲まれていることからみて、すべてではないにしても、この様な集落の立地は外敵の侵入の防衛を意図としたものであることがうかがえる。

これらの背景は、集落ごとの孤立性を持続させ、州としてのまた国家としての連帯意識の欠除にもつながり、現在にいたるまで部族国家の域にとどめた原因をなしたといえる。

民族は勿論イエーメン人を主とするが、紅海に面した低平地帯(Tihamah)にはアフリカ、エチオピア系の人種が目立つ。

この様な人種のちがいの外、同じイエーメン人でも北部と南部では気質の上でも相違があるようにみられる。即ち南部では婦人のヴェールが少ないとか、男性の刀剣の着装が少ないといった外見的なものの外、南部では教育レベルが高く、政府要人に南部出身のものが多いたった点あげられる。これは早くから近代化が進んだ南イエーメンに近いことや、実際にそちらから移住して来た人間が多いたったためと考えられるが、その外にも気象条件の良さに由来する点もあろう。

#### f. 産 業

Y.A.R.の主産業は農業であって、農業人口は国民の90%、また国民生産の70%は農産物に依っているとされている。しかし、山岳部の多いこと、またTihamahの低平地にあっても降雨に恵まれず、極端な乾燥地帯であることから、耕地面積は全国土の15%、また雨の降り方によっては休耕地となるところを考えると12%に過ぎない。

そのため、アラビア半島にあって唯一の農業国でありながら50%の食糧は外国から輸入しているといった状況である。

この様なアンバランスは一つに土地の生産性の悪いことによるもので、現在灌漑水の導入等を主とする農業生産の向上に努力が向けられている。

農業生産の外には、これといった産業はなく、わずかに岩塩の採掘、自国消費に及ばな

い程度のセメントの生産等が行なわれているに過ぎない。大半の生活必需物資は輸入にたよっており、これに反して輸出は輸入の5%という低さである。

#### g. 国際収支

以上の様な状態から、当国の財政は極めて悪く、1970年時の国民総所得は3億ドル（国民1人当たり約50ドル）に過ぎないといわれ、大巾の赤字は、150～200万人といわれる海外出稼ぎ労働者<sup>※1</sup>の仕送りと国自体が受ける海外援助にたよっているという状況である。

日本との関係は生活物資を通して極めて大きいものがあるといえる。即ち、繊維、雑貨の類から各種の電気製品、自動車、発動機にいたるまで日本製品が目立っている。また辺鄙な地方の集落で日本製の缶ジュースが売られているのは驚嘆のいたりである。

#### h. 教育

最後にこの国の教育について付言しておく。当国において前近代的な教育、つまり宗教を背景とした、いわば日本の寺小屋式の教育から、ある程度制度化された教育がなされる様になったのは革命以後であるが、それでもかなりの低レベルであって、1976、1977年の資料によれば、5～14才の就学率は12.6%に過ぎない。

教師はエジプト人、パレスチナ人、シリア人、イラク人などにたよっており、教育技術者の養成がいそがれている。現在大学は全国でSana'aに一枚あるのみで<sup>※2</sup>、ここには法律、芸術、科学の外、教育、商学、経済の学部があり、1975年時で4,600人余りの学生が就学している。

## 2) Y.A.R.における利水の現況とプロジェクト決定の経緯

### a. 歴史的背景

用途を問わず、その国の利水の現況を把握し、問題を探るためには、それまでにいたる歴史的、社会的背景についても考察の目を向ける必要がある。このような観点から当国の水利用の一般についてまず概観しておく。

イエメンにおける利水の歴史は古く、Saba'a王朝にさかのぼる。Ma'ribやJawf等にはその時代の築造によるとされているダムや遺構があり、またこの周辺にかなり大規模な営農が行なわれたと思われるあとがみられるという。この様な昔にまでさかのぼらなくとも、現存する種々の用水施設や水利慣行（後述）はこの国の利水のあり方が永い歴史的な所産であることを物語っている。

今回は一部の調査で全容を把握したわけではないが、それでもこの国の住民がきびしい

※1 サウジアラビアへの出稼ぎが大半である。

※2 1970年に開校

自然条件と、限られた技術的制約のもとで最大限の努力と永年の知恵を積み重ねて、そこに最も良く適合したかたちで水利用を行なって来たことがうかがえるのである。後に詳述されるが、例えばケスタ地形とその地質条件にうまく適合した土地利用、みごとに耕された階段畑とそれの保水機能を維持するための配慮、限られた時期の降雨を灌漑水として活用するための営農法等、数多くの事実を指摘することが出来る。

#### b. 問題点

しかし水問題の解決がこの国の将来のために極めて重要であることにはかわりがなく、農業用水についていえば、90%以上を雨水のみにたよっている現状を改善することにより農業生産をいちぢるしく高めることが出来るのは論を待たない。

日常の用水についても同様のことがいえ、水取得のためについやされる労力を軽減し、施設の改善による衛生の向上を計ることは、この国の発展のために極めて重要な課題といえる。参考として当国の家庭用水取得の状況を紹介しておく。\*

#### 降 雨

80%以上の集落は雨がすべての用水の水源となっている。大抵の場合、雨はシスターンと称する大小様々の貯水池にためられ、雨期以外の8カ月間の用水を支えている。それでも雨量が少なく、雨期に水が充分たまらない場合には10~20Km、あるいはそれ以上の距離を人力か動物によって運ばなければならない。(この様な事態はしばしば発生するという。)水の運搬は女、子供の重要な日常の作業となっている。シスターンは汚物の流入に対して特別な配慮がなされていないので、極めて非衛生的である。この国では消化器系統の病気が多く、とりわけ子供にいちぢるしい。平均寿命40才程度と極めて低いことの原因としてこの水の問題は無視出来ない。

#### 浅井戸

ワジ沿いの低地、山麓面、Tihamah平原等には大小の手掘り井戸があり、利用されている。

場所にもよるが、これらの浅井戸は水質、微生物の問題、また乾期には涸渇するという問題があるのでかならずしも安定した水源とはなっていない。

#### 泉

山岳地帯において、その山麓部、谷の谷頭部、また異質な地層の境界、不整合部にはしばしば湧水がみられ、利用されている。年間を通してかなりの湧水量のあるところもあるが、しみ出し程度か、季節的なものも多い。

水源の確保という点からすれば、量、水質の上でも最も確実な方法であるが、問題は水

---

\* Sana'a, Taizz, Hudaydahをはじめ、地方都市でも水道が少しずつ普及して来ているが大半の地域は旧来の水利用のままである。

表1 イエーメン・アラブ共和国における深井戸(1978年2月現在)

Wells drilled by:	No. of Wells	Areas	Purpose of Drilling
U.S. AID	7	Taizz area	City domestic water supply
U.S. AID	60	About 75% in Sana'a and Amran-Raydah Basins, 25% in other areas	Ground water exploration
U.S.S.R.	5	Hodeidah area	City water supply
Iraqi Government	36	Sana'a Region	Domestic water supply
People's Republic of China	6	Along Sana'adah Highway	Highway construction and domestic water supply
German Federal Republic	3	Along Sana'a-Taizz Highway	Highway construction and domestic water supply
Yemen Water Authority (financed by WHO)	10	Hodeidah area	City domestic water supply
- do -	17	Taizz area	City domestic water supply
- do -	7 Production 8 Exploratory, observation	Sana'a area	City domestic water supply
ITALCONSULT (financed by WHO)	18	Sana'a and Hodeidah areas	Exploratory wells for city domestic water supply
George Stow & Co.	21	Mountain plains in South-Central Yemen	Ground water exploration for irrigational water supply
Kingdom of Saudi Arabia	36	In different regions	Domestic water supply and groundwater exploration
Ministry of Public Works of Y.A.R.	30*	In different regions	Domestic water supply
Local drilling contractors	200*	In different regions	Domestic and irrigational water supply
TOTAL	564 Wells		

\* 推定数

源の位置と、山頂にある集落までの距離及び比高が大きいいため利用しにくい点である。

以上のように水源を与えられた条件のままに利用して来た時代から、最近ようやくこれを積極的に利用する技術、機器が導入される様になった。鑿井による地下水の開発はその代表的なものである。我が国の地下水利用の歴史がそうであったように、深井戸ポンプの導入がこのことに重要な役割をはたしている。これは、1970年から1976年までに輸入したポンプ台数23,528台のうち、1970年次のものが13%、1973年次のものが17%、1976年次のものが25%と年を追って増加していることからもうかがうことが出来る。

現在ポンプ灌漑による耕地は45,000haで全耕地の3%に過ぎないが年々増加の傾向にある。

深井戸は表1にあるように各国の援助によって施工されているが、その他に個人あるいは共同で掘った浅井戸もかなりあり※、一つの推定によると、その数は全国で10,000と見積られている。なお深井戸のポンプは視察した限りではすべてボアホールポンプで、これをジーゼルエンジンで動かしていた。

さて、このように今後急増が見込まれる地下水の利用に対して、それが一つの地下資源であるという認識を持たせる必要があるように思われる。それは当国のように乾燥寡雨地域でしかも帯水層の地質時代が我が国ではあまり例をみない中、古生代の古期岩層をも対象としなければならぬようなところでは、地下水の循環速度は極めて遅いものと推定され、その涸渇が心配されるからである。

事実Sana'a盆地では年間1.5～2.5mの地下水位の低下がみられるという。

現在のところ、地下水の利用量が少ないので他にはこのような事態は生じていないが、将来場所によっては飲料用水と農業用水の競合の起ることが心配される。即ち将来の地下水開発に際しては、地下水の保全についても考慮されなければならぬであろう。幸いこうした考えは、Sana'a盆地では実施され、後にのべるような規制措置も講ぜられている。

先方政府は、水源確保について、第一に地下水をあげているが、上述の問題を考慮し、他の水源の活用も必要であることを力説する必要がある。

#### c. プロジェクトの性格

この様な問題の一方、水源の確保が非常に難しい自然条件のところほど、水需要の緊急性が大きいという側面のあることも忘れてはならない。

---

※浅井戸1本当りの工費は揚水施設まで含めて10,000リアル(約60万円)かかるといわれている。

先にものべた様に当国の集落分布は全国にほぼ様に分散し、かつこれらが高地に位置し、しかも孤立しているので、それだけ水源の数が多くなり、また水源工事そのものにかかる費用の外に配管等の付帯設備、維持費も容易なものではない。つまり水源の開発については水源の調査のみならず、これらの点も表裏一体として考えなければならないという難かしさがある。

今回のプロジェクトは地方水道計画の一貫として行なわれたもので、我国としては、1976年に実施された調査に引きつづく2回目のものであるが、全体として上述のような悪条件のところを対象となっている。当時の計画ではプロジェクト実施地区として、カテゴリ-A地区とカテゴリ-B地区に分けられており、その区分根拠として、計画を直ちに実施出来る条件のそろっているところをA、道路事情等条件の悪いところをBとしていたもので、これが今回の対象となっている※。地区の数は全部で14地区であるが自然的・人文的諸条件からサイト数は、それ以上になることが予想される。

## 2. 事前調査の目的と実施経過

### 1) 調査の目的及内容

今回の調査の目的はつぎの各項目から成る。

#### i. 既存の水施設の調査

既存の水施設を出来るだけ多く観察し、また聞き込みを行なって今後の水源開発のあり方を探る。また若干の項目について、実測を行ない、開発に関する技術的な面での判断材料を得る。

#### ii. 地形、地質の観察により、当国の水文地質的条件を探る。

#### iii. 入手可能な関連資料を収集する。

iv. 先方政府当局と可能な限り接触を計り、プロジェクト対象域の確認をはじめ、先方の意向、考え方をキャッチする。これらによって作成したS/W (Scope of Works) は本報告書末尾に資料として添付してある。

v. 以上を総合して、既存水施設の改良方法をも含めた、開発可能な最適水源を判断するための調査方針を立案する。

今回はカテゴリ-B地区のうち、地形、地質条件ならびに踏査ルートの都合を考慮して、後述の6地区をえらび、上記の各項目の調査を行なう一方、本工事を施工する上でのフィジビリティについての検討も加えた。またこれらの目的に執着することなく、本プロジェ

---

※ カテゴリ-A地区は全部で41サイトあり、現在詳細設計が進められている。

クトに直接関係のないものについても積極的に吸収することに心がけた。例えば現地住民との接触の外、食住環境についても出来るだけ体験するように心がけた。

## 2) 調査団の構成

以上の目的を実施するために構成された調査団は下記の通りである。

### 団長

新藤 静夫	筑波大学地球科学系 助教授	水文地質 (総括)
-------	------------------	--------------

### 団員

武居 由之	通産省地質調査所物理探査部 主任研究官	地質 (物理探査)
-------	------------------------	--------------

### 団員

山口 嘉之	財団法人国土開発技術研究センター 参事	土木 (水利施設)
-------	------------------------	--------------

### 団員

江川 良武	建設省東北地方建設局河川部 建設専門官	地形 (資料分析)
-------	------------------------	--------------

### 団員

田口 雄作	筑波大学地球科学系 文部技官	水文、人文 (資料分析)
-------	-------------------	-----------------

### 団員

地 曳 隆 紀	国際協力事業団社会開発協力部 開発調査業務室	業務調整
---------	---------------------------	------

## 3) 調査団の行動記録

### 1. 国内事前作業

- 昭和53年11月7日、第1回打合せ、  
オリエンテーション、調査日程決定  
既存資料入手及び検討
- 昭和53年11月15日、第2回打合せ、  
本格調査実施案(S/W案)打合せ、同作成  
事前調査実施資料作成、現地調査経験者より現地の事情聴取、事前調査方針の立案

○昭和53年11月20日、第3回打合せ

S/W案の決定、関連資料入手、事前調査方針の確認

○昭和53年11月24日 各省協議、S/W案の確認、出発手続き。

ii. 現地調査

(次頁)

iii. 国内事後作業

○昭和53年12月20日 各省帰国報告会

事前報告書とりまとめ方針協議

○昭和44年1月16日

報告書原稿調整、内容討議

○昭和54年2月5日

報告書原稿最終調整



表2 北イエメン地方水道計画事前調査団行程

日順	月日	曜日	行程	調査内容
1	11/27	月	12:15 成田 → J1471 → カラチ 21:05	出発
2	28	火	23:00 カラチ → SV668	移動
3	29	水	01:30 ジェダ	在ジェダ日本大使館表敬、報告、「イ」国入国ビザ取得
4	30	木	17:30 ジェダ → IY705 → サナ 18:45	移動
5	12/1	金	サナ	在サナ日本大使館表敬、報告、打合せ、午后、ワジ・ダハール視察
6	2	土	"	サナ近郊既存井戸、カバール、マダム踏査
7	3	日	"	「イ」公共事業省、経済企画庁打合せ、公共事業大臣表敬
8	4	月	サナ → マハウイド	現地調査 (マハウイド)
9	5	火	マハウイド	"
10	6	水	ホデイダ	" (ハジヤ)
11	7	木	ハジヤ	"
12	8	金	ホデイダ → ドライヒミ → タイズ	" (ドライヒミ)
13	9	土	タイズ → サルッ → タイズ	" (サルッ)
14	10	日	タイズ → イブ → サナ	" (イブ)
15	11	月	サナ → ホーラン → サナ	" (ホーラン) 1班 C.P.O, M.P.W 打合せ 2班 現地調査
16	12	火	サナ	資料収集
17	13	水	"	C.P.O, M.P.W 合同会議 議事録作成
18	14	木	"	議事録合意
19	15	金	15:30 サナ → IY706 → ジェダ 17:00	帰路
20	16	土	01:00 ジェダ → IC020 → ホンコン 20:45	"
21	17	日	10:30 ホンコン → JL062 → 成田 15:00	帰国

## 第二章 本 論

### 1. Y, A, R. の水資源区分

#### 1) 水資源区分の基本的考え方

今回の事前調査及び次に予定されている本格調査の当面の対象は、14地区だけであるが、つぎの理由から今回の調査によって得た知見と既存資料にもとづいて、広く当国における水資源の区分を試みた。即ち、

ⅰ 今回の対象地域が以下に考察する水資源区分の中でどのような位置にあるかを把握しておくことは、今後の水源保全の問題を考える場合に有効な情報を提供するものと考えられること。

ⅱ 今後類似の自然条件を有する地域の調査の参考となると考えられること。

である。勿論、今回は短期間の踏査で資料も限られているため、十分な結果を得るといったところまではいっていないがここでは本格調査等今後の資料の蓄積を待って改良を加えてゆくという前提のもとで資料整理を行ない、一つの試案を示した。

さて、我が国である地域の水源を得ようとする場合、地形あるいは地質に関する情報のみでかなりの判断がなされることが多い。それは一つには我が国の様に多雨地域では、当面は水の補給を前提とした水文条件については大きなウェイトを置かなくても良いというケースが多いこと、さらに開発の対象となる地下水がおもに、第四系を中心とした未固結岩石中の地下水であり、この場合には、地形—地質の対応関係とそこで水のあり方に一つのパターンがあるためである。しかし当国の様に降雨の絶対量が少なく、かつ雨期、乾期がはっきりしている乾燥地域では、水源の開発は容器としての地質と、その容器に水が有効に入り込むための条件としての地形、そしてそこに入る水そのものの3者の条件を密着させながら種々の判断がなされなければならない。今回は主に地形、地質的条件の悪い山岳地帯が対象となるので上述の点が極めて重要な意味を持つこととなる。

以上の観点から、まず水文地理区分、地形区分、水文地質区分を個々に行ない、最後にそれらの総合としての水資源区分を行なうこととした。

#### 2) 水文地理区分

この国の主要な流域は、紅海から120~150Km 東に位置する脊陵山脈によって、東西に大きく2つに分割される。さらに Ibb や Taizz の東側や南側の小さな流域は南流して、Aden 湾に流入する。

主要な wadi の河道の縦断面を描くと、図2のように非対称になり、中央の脊陵山脈の西側斜面の方が、東側や南側に比べて、その勾配が大きくなっている。

気候は、標高の違いによって、大きく変化が生じている。中央山岳地帯では、冬の気温は5

℃以下に下がり、霜や雪を見ることもしばしばある。夏には、赤道に近いため、気温は上昇し、Tihamahでは40℃を越えることは珍しくない。しかし、高地や山岳地帯では、標高が高いため、そのようなことはなく、平均気温18℃ぐらいで、むしろ過ごしやすい。

卓越風向は図4のように、大気の大循環により、5月から9月の夏期には主として南西、10月から2月までの冬期には北ないし北東方向である。

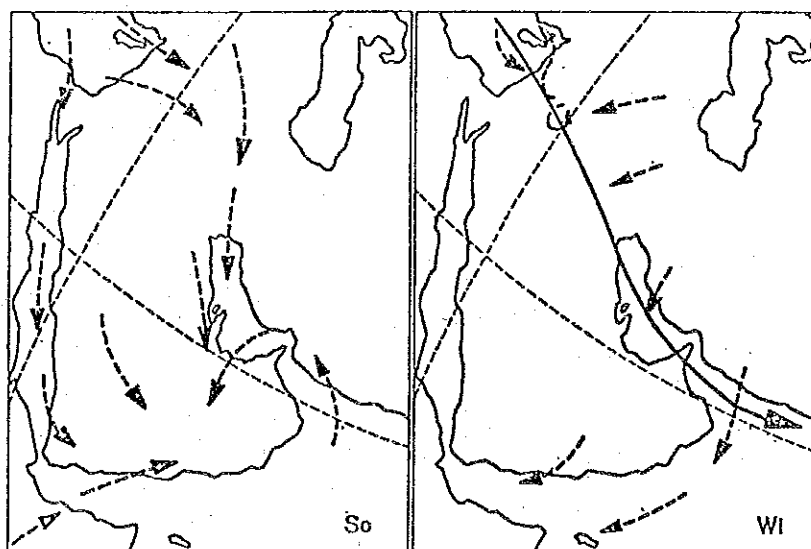
前者は湿潤不安定で、山岳地帯にぶつかって上昇気流となり、冷却され厚い雲を形成し、とくに7月から9月にかけてこの地帯に大雨をもたらす。山岳地帯西部の大部分の地域では、500mmの降水量を記録し、もっとも多い地域では多分1,000mmを越えるであろう。年降水量の平均値は1bbで1,000mm、Taizzで600mm、Sana'aで600mm程度である。

降水は不安定で、夕方や夕暮後に、強いわか雨となる傾向にある。

一方、冬期は乾燥しており、中央アジア方面から吹き、この時期に無降水期を形成する。また3月から4月にかけては、小さな降雨期となっている。

図4 中東における夏期および冬期の卓越風向

(Boesch, H., 1959による)



図中細かい破線は北緯23度30分、東経40度のラインを示す。

左側が夏期、右側が冬期。

各地の1975年における月別降水量の分布は図5のようである。各地区とも、ほぼ2回の雨期があるのが観察できる。西部Tihamahはきわめて雨が少なく、南部の高地や山岳地帯は、北部や中部の地帯よりも多いのが特徴的である。

図5 各地の月別降水量分布図

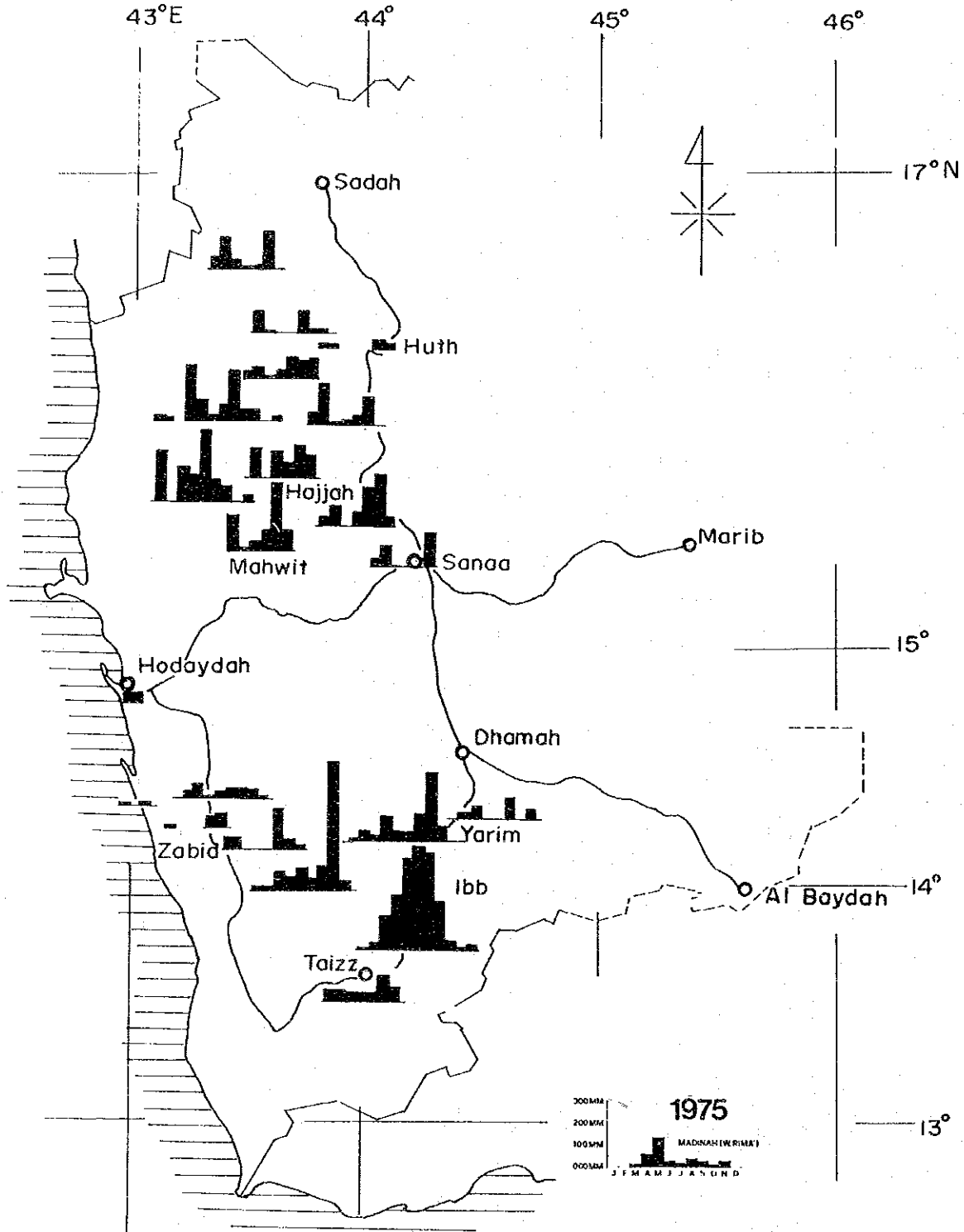


図6 年平均降水量等値線図 (Stewart & Dequinによる)

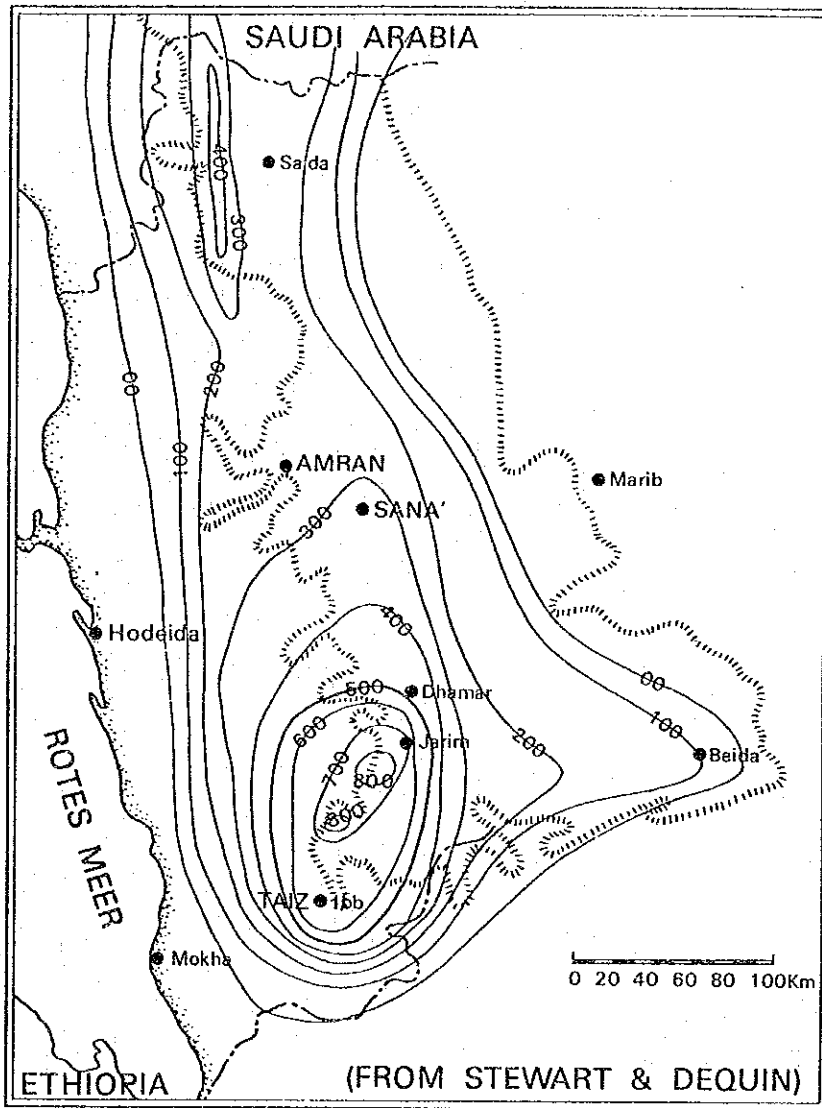


表3 水文地理的区分

標高	気候	平均気温 と地下水温**	年平均雨量	植生	灌溉方法*	農作物
0 - 500m	熱帯	22 - 35°C (30 - 35°C)	0 - 300 <sup>mm</sup>	サボテン類 アフリカなどの 灌木	出水灌溉型	なつめやし 野菜 きび・あむ類
500 - 2100m	熱帯 亜熱帯	16 - 26 (15 - 25)	200 - 600	イナゴマム、イチジク、 クルミなどの地中 海性植物	湧泉灌溉型	棉花、バナナなどの果実 タバコ、サゴヤシなど コーヒ カット
1800 - 3700m	温暖	10 - 18 (10 - 25)	200 - 1800		降水依存型	小麦、大麦、トウモロコシ かんきつ類、トマトなど の野菜、アルファルファ、 ブドウなどの果実
1200 - 1800m	亜熱帯	16 - 24 (15 - 25)	100 - 400	ステップ	出水灌溉型	カット
800 - 1200m	亜熱帯 熱帯	22 - 28 (30 - 35)	0 - 200	なし	オアシス灌溉型	

\* このほか全土にわたって伝統的揚水灌溉型があるが、全灌溉面積の1%にも満たない。  
\*\* 観測時における地下水温をカッコ内に示した。

年平均降水量を等値線で示すと、図6のようになるが、各年の降水量値には変動があるため、図5とは多少異なっている。

つぎに、Y.A.R.を標高、気候、年平均気温、年平均降水量、植生、灌漑方法、および農作物の指標を基に、

- ① Tihamah 地帯
- ② 西部および南部高地地帯
- ③ 中央山岳地帯
- ④ 東部高地地帯 (Meshreq)
- ⑤ 東部砂漠地帯

の5地帯に区分し、表3に示した。

以下に各地帯の概略を述べる。

Tihamah 地帯は、紅海に面した標高0~500mの低地で、年平均気温は22~35℃、年平均降水量は0~300mmで熱帯気候である。植生はほとんどないが、サボテン類やアカシアなどの灌木がところどころにみられる。しかし、地下水を得ることは比較的容易で、地表下30~50mで地下水面に到達する。したがって、灌漑さえ解決すれば良好な農耕地となる。蒸発量がきわめて多いため、伝統的な揚水灌漑では限られた水量しか得られず、ごく小規模の耕作しか可能とならない。動力による灌漑によれば大規模な耕作が可能であるが、大部分は、天水だけが頼りの降水依存型であり、wadiに沿う一部の地区では、出水した河川の水を堰止め、引水する出水灌漑 (Spate irrigation) である。農作物は、野菜、棉花、バナナ、パパイヤなどの熱帯果実、タバコ、ナツメヤシ、サゴヤシ、きび・あわの類である。

この地帯の典型的な気候状態を示す、1974年のZabidの各月の降水量、降水日数、蒸発量(可能)、平均気温、最高最低気温、地表下50cmの地温を図7、および平均湿度を加え表4に示す。

ここでとくに興味深いのは、地表下50cmにおける地温が、月平均気温よりも10℃程度高いということである。これからも、Tihamah地帯の地下水が30℃以上の高温であることもうなづける。

西部および南部高地地帯は、標高500から2,100mまでの高地で、年平均気温は16~26℃、年平均降水量は200~600mmで、熱帯ないし亜熱帯の気候を示す。この地帯の山麓部は、砂や礫に包蔵する地下水や、浸透性岩石と非浸透性岩石の互層と高地の降水量が多いことによって生じる湧泉によって、水を得ることは比較的容易である。

一方、標高750mより高い地域では、イナゴマメ、イチジク、クルミなどの地中海性植物が出現し、1,500m前後からイエメンでもっとも生産性の高い地域となっている。そこでは、灌漑水と自然の降水が有効であるとともに、熔岩や玄武岩質の土壌の上を被覆した風成のレスが、

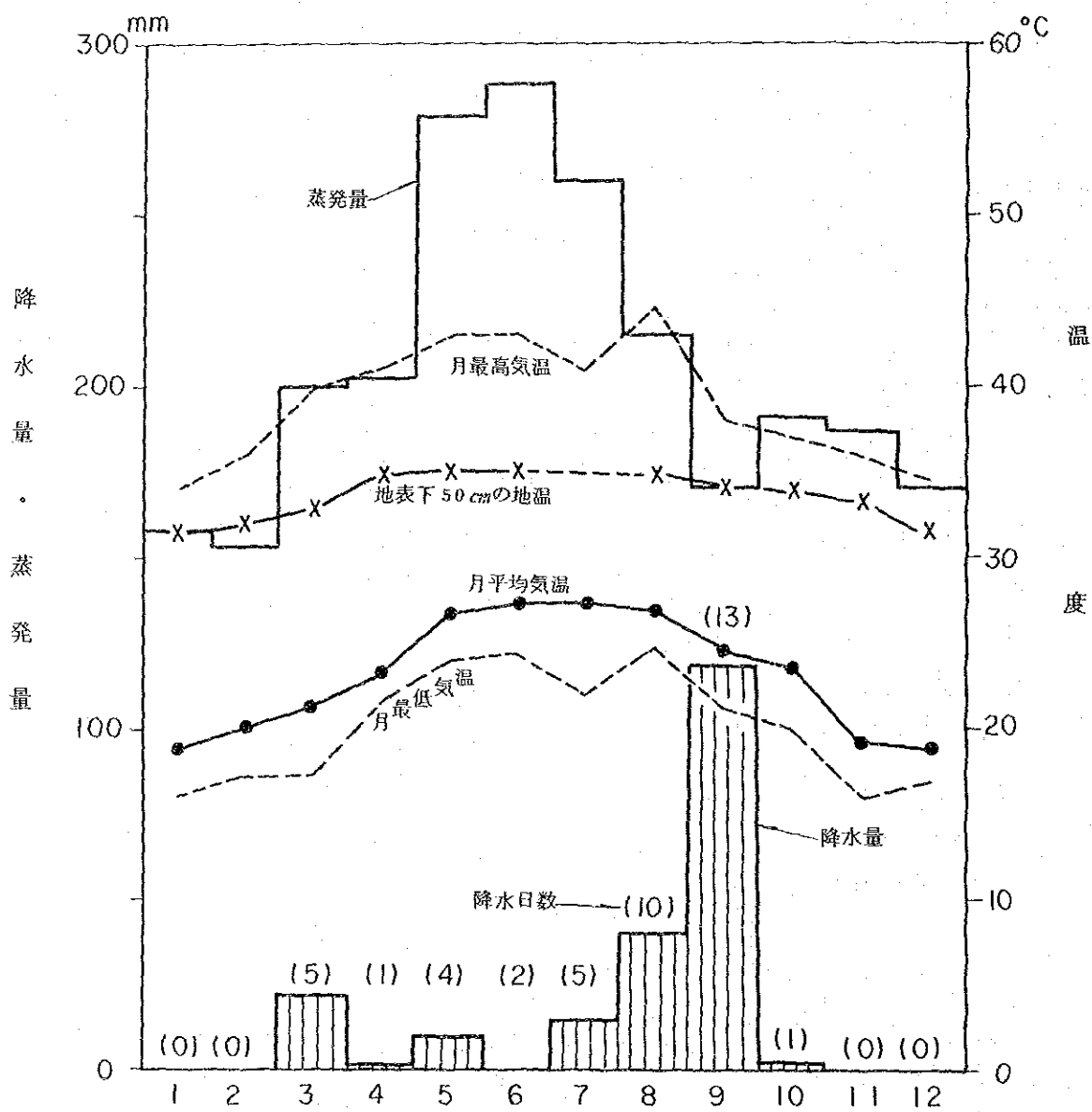


図7 Zabidの1974年の各月の気象観測値



このうえもない壤土を形成しており、平地や階段耕作によって、小麦、大麦、トウモロコシ、柑橘類、野菜、アルファルファ、ブドウなどの果実の農作物が栽培されている。それらに加えこの地帯のもっとも特徴的な農作物はコーヒーとカットである。コーヒーは標高1200~1600 mで栽培され、イエメンの主要な輸出品（1975年で総輸出高の15%）となっている。カットは背丈が3 mほどの灌木で、その若葉をクチャクチャ咬むことによって、自己陶醉をおぼえ一種の覚醒剤として、あらゆる階層の大部分の人々に愛用されている植物である。この植物も、コーヒーと同様にきわめて限られた高さ、すなわち標高1500~3000 mにのみ栽培され、生長の後半に、かなり多くの水を必要とする。

表4 Zabidにおける気象観測記録（1974年）

	降水量	降水日数	蒸発量	最高気温	平均気温	最低気温	平均湿度	地表下* 50cm地温
1	0.0 mm	0日	158 mm	34.0°C	18.7°C	16.0°C	72%	31.4°C
2	0.0	0	153	36.0	19.9	17.2	67	31.8
3	21.8	5	200	39.8	21.3	17.2	64	32.8
4	0.3	1	202	41.0	23.3	21.5	59	34.9
5	10.5	4	279	43.0	25.6	24.0	56	35.0
6	0.2	2	288	43.0	27.3	24.4	54	35.0
7	15.3	5	260	41.0	27.2	22.0	56	—
8	40.1	10	215	44.5	26.8	24.9	64	34.9
9	118.3	13	170	38.0	24.5	21.0	71	34.1
10	2.2	1	191	37.0	23.5	20.0	63	33.8
11	0.0	0	187	36.0	19.1	16.0	57	33.2
12	0.0	0	170	34.5	18.9	17.0	65	31.4
合計	208.7	41	2,473				62 (平均)	

(注) \* Wadi Zabid における値

この地帯の代表都市に南部のタイズ (Taizz) を挙げることができよう。N.W.S.A. (National Water Supply & Sewerage Authority) の Taizz 支所の観測によれば、間欠的ではあるが1945年から1977年までの年降水量は、図8のように変動しており、最大が1966年における853.7 mm、最小が1977年の318.4 mm、平均576.4 mmである。月平均値をとってみると、図9のように4月から10月まで60 mm以上の降水がある。1977年の3月

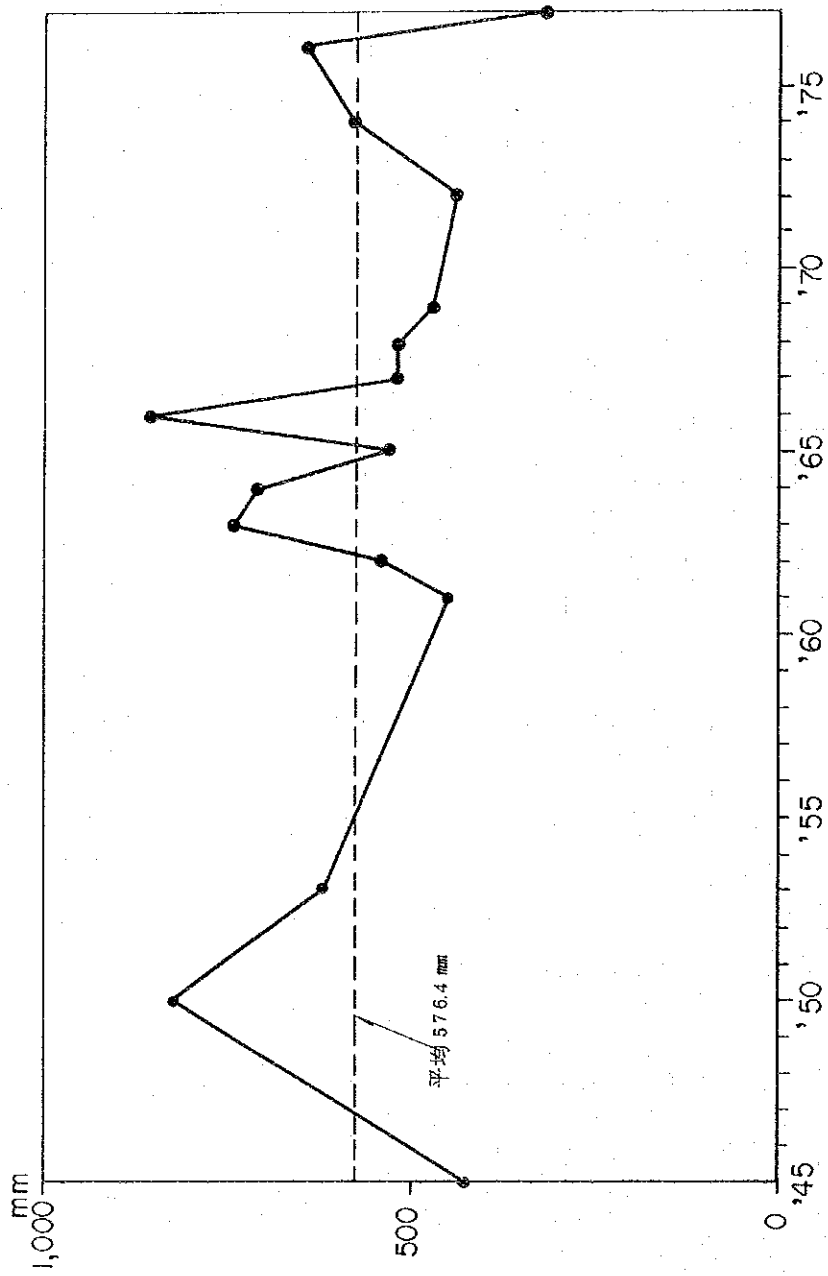


図8 Taiizzにおける年降水量の変動

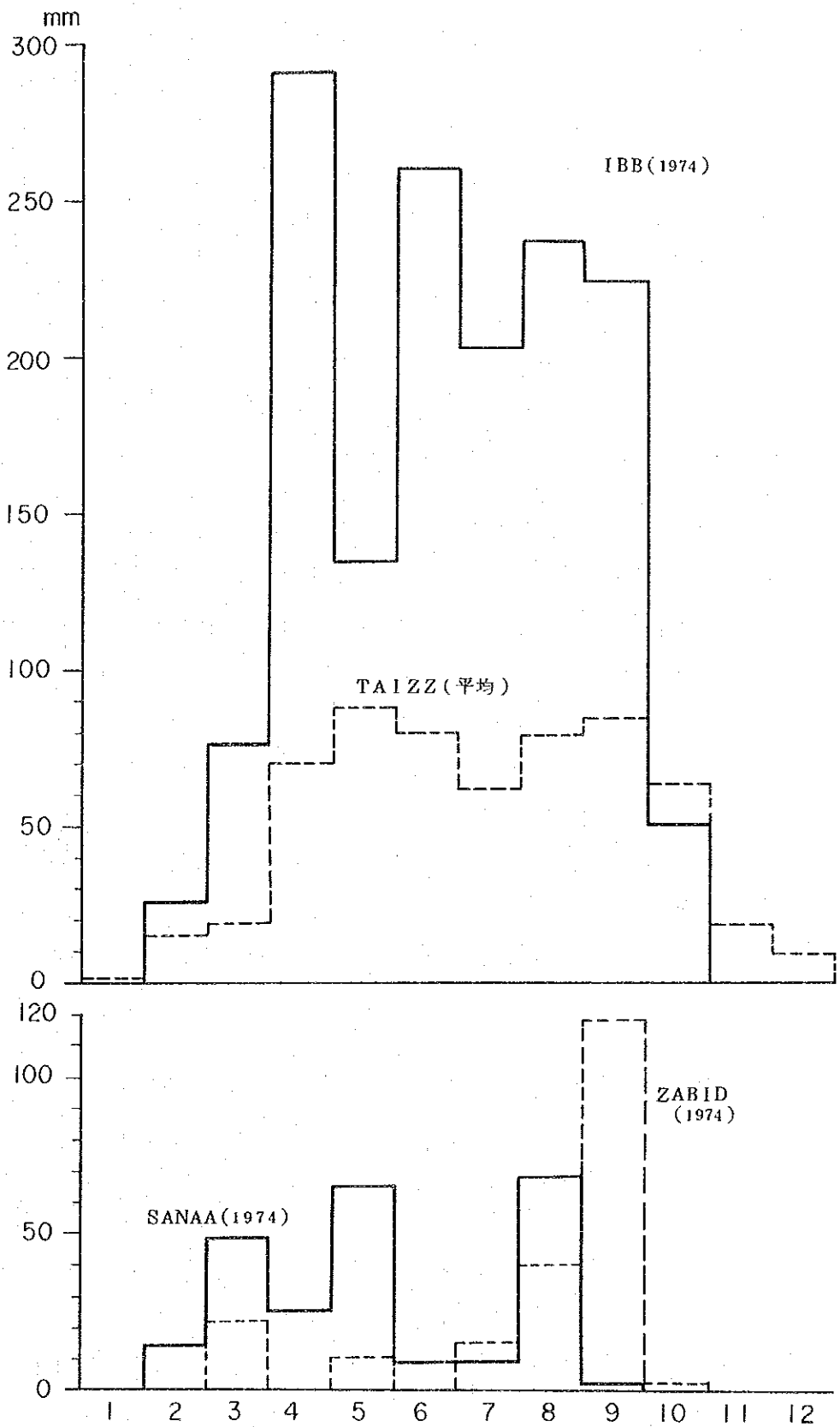


図 9 Sana'a, Zabid, Ibb, Taizz の月降水量の変化

から8月までのTaizz地区の流域面積35~240Km<sup>2</sup>の4河川の平均流量は100~180ℓ/s、最大1000ℓ/s、最小7ℓ/sであった。しかし、前述のように1977年は渇水年であったので、平年であればそれぞれの2倍ぐらいの流量があるものと思われる。降水量に比べ、流出の少ないのが注目される。

また、Taizz市の水道水源であるAl Haima地区の可能蒸発散量は、

Blaney-Criddle 法	1,879 mm/年
Hargreaves 法	1,938
Olivier 法	2,140
Penman 法	1,958
Thornthwaite 法	1,235

と用いる計算式によってかなり異なる値を示す。しかし、このうち、Thornthwaite法は気温だけを指標にして計算するため、他の方法とは大きく異っている。この方法は、乾燥地域の可能蒸発散量を求めるには不適と思われる。結局、年間1,900mm前後の可能蒸発散量があると推定でき、N.W.S.A.ではBlaney-Criddle法が乾燥地域では、もっとも信頼できるとして採用している。

この地帯のうち、南部のIbb周辺では、Y.A.R.中でもっとも降水量の多い地域となっている。1974年のIbbにおける月別降水量は図9に示す。

中央山岳地帯は、標高1,800~3,700m、平均気温は10~18℃、年平均降水量は200~1,800mmで、温暖気候である。この地帯では、年平均降水量が比較的十分にあり、降水依存型の農業が卓越し、灌漑はそれほど重要な問題とはならないようである。耕地はよく耕されており、西部および南部高地地帯の植生や農作物とほぼ同じであるが、コーヒーだけは栽培されない。

年降水量は年によって大きく変動し、首都Sana'aの観測記録は、

1938-47年(10年平均)	295 mm
1963-67年(5年平均)	375 mm
1968-71年(4年平均)	190 mm
1972-75年(4年平均)	225 mm

となっている。1974年の月別降水量は図9に示す。

このように、豊水年と渇水年とでは、降水量がかなり違うことが、指摘できる。

PRATT & CHILTON(1976)は、この地帯の南部に位置するDhamarにおける、豊水年、平年、渇水年の降水量、蒸発散量、流出量および地下水浸透量を表5のように概算した。

表5 Dhamar 地域における降水と蒸発散、流出との関係

(全面積の3分の2を未耕作地、3分の1を耕作地と仮定して概算した。)

	渇水年		平年		豊水年	
	mm	%	mm	%	mm	%
降水	100		400		700	
蒸発散	85	85	200	50	295	42
表面流出	10	10	185	46	365	52
地下水流出	5	5	15	4	40	6

(PRATT, 1976による)

未耕作地に降る雨のほぼ70%は流出し、そのうちの3分の1は直接河道流出し、残りの3分の2は耕作地に導水されたり、自然の凹地に貯留される。耕作地で獲得される降雨や流出のうち、およそ4分の3はその場に保留され、一部は地下水面に到達するが、蒸発によって再び上昇せられる。

東部高地地帯は、中央山岳地帯の東側に位置し、標高1,200~1,800m、平均気温16~24℃、年平均降水量100~400mmで、亜熱帯気候を示す。西部高地地帯に比べて、より緩やかな傾斜をもって、アラビア砂漠へ傾いており、Meshreq という名で知られている。降雨や地下水によって水を得ることは比較的容易で、中央山岳地帯の上部では見られなかったカットの栽培が再び現われ、小麦、大麦、トウモロコシなどの穀類や、野菜、ブドウなどの果実が階段耕作や、wadi 底での湧泉灌漑によって栽培される。東部へ向かうに従って、植生はしだいにステップへと移行する。

Meshreq の低標高地域は、砂漠へ移行する漸移地帯であり、現在ではほとんど集落はない。かつては、Maribをはじめとする多くの灌漑事業がなされ、一大耕作地帯となっていたが、現在ではわずかに wadi 底での小規模な灌漑農業がなされているにすぎず、耕作面積は Marib ダム当時よりも減少しているということである。

Wadi Saba は流域面積 8,900—11,300Km<sup>2</sup> と Y.A.R. 中最大である。Wadi Kharid も流域面積 3,100—7,000Km<sup>2</sup> で第3位の大きさである (表6)。

表6. Y. A. R. における主要なWadiの流域面積

西部斜面	
Wadi Mawr	7,500 Km <sup>2</sup>
Wadi Surdud	2,450
Wadi Siham	3,200
Wadi Rima	2,450
Wadi Zabid	4,500
Wadi Rasyan	1,750
Wadi Mawza	1,300
合計	23,150
南部斜面	
Wadi Tuban	3,550
Wadi Bana	5,900
合計	9,450
東部斜面	
Wadi Amlah	1,000
Wadi Khabb	1,400
Wadi Awban	800
Wadi Madhab	2,700
Wadi Hirran	3,000
Wadi Kharid	3,100-7,000
Wadi Saba	8,900-11,300
Wadi Harib	1,000
Wadi Bayhan	2,450
合計	30,650

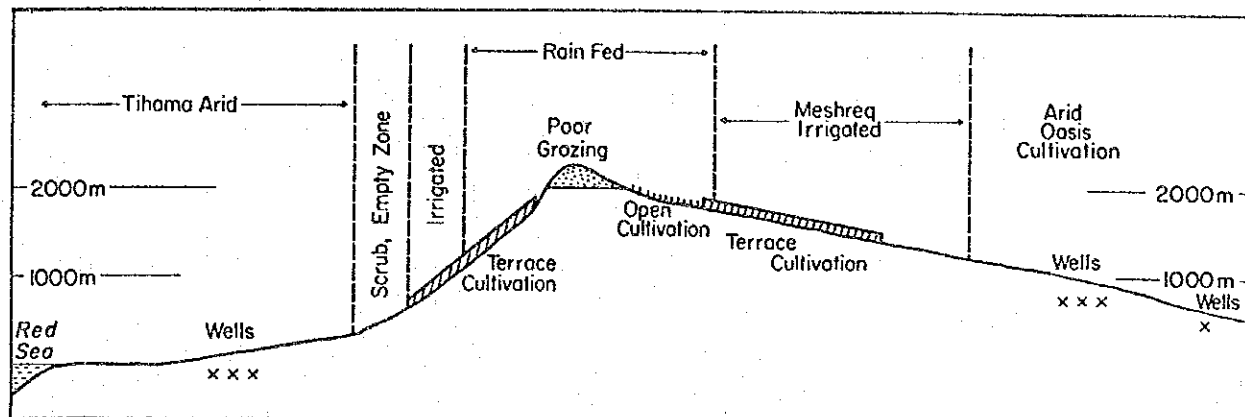
(Swiss TeamのFinal Report, 1978による)

東部砂漠地帯は、標高800~1,200 m、平均気温22~28°C、年平均降水量0~200 mmで亜熱帯ないし熱帯気候を示す。植生はwadi底を除いて、まったく見られない。耕作も一部にオアシス耕作や出水灌漑による耕作が行われるが、大部分は降水依存型ないし非耕作である。

以上の記載を主として標高と土地利用にのみ着目して模式的に示すと、図10のようになる(FISHER, W.B. 1971)。

図10. イエメンにおける農耕区分概念図

(FISHER, W.B., 1971による)



### 3) 地形区分

当国を地形的に大観すると、中央山嶺を境いに西斜面と東斜面に区分することが出来、前述の様に西側の方が全体として急峻な地形をなしている。

#### a. 西斜面

西斜面はさらに Tihamah と呼ばれる海岸平野と山岳地域に区分される。

Tihamah は紅海に面し、南北に幅 30~40Km で連なり、高度は 0~500m である。海岸平野の幅の割に高い標高を示すのは、扇状地やベディメントの発達による。

この地域の西半分の大半は砂丘地となっており、ここでは土地利用は進まず、貧しい畑地が散見される程度である。

山地からの距離が大きいためここではワジの流路が明確でなくなり、上流域で洪水が発生した時においてもそれがよほど大きなものでない限り表流水が海岸まで到達することはないという。

これに対して山麓に近い部分では相対的に雨量も多く、またワジの流路や地形が明瞭であり、乾期(12月)の調査においても流水をみる事が出来た。こうした水事情から農地が発達している地区が多く、ことに動力井戸とトラクターを備えた地区では大規模な農場経営がみられた。しかし Zabid の南方では扇状地面が段丘化し、地表を礫が覆って荒地となっている。

山岳地域は Tihamah から急激にそびえ立ち、そこから中央の分水嶺まで、約 80Km の幅

で当国全土を南北に走っている。標高は東に向かって徐々に高くなるということではなく、一般に Tihamah から、いきなり 2,000 m 級の山岳地となるため、西部で起伏量が大きく、分水嶺付近で小さい。いかえれば山容は平野の近くで峻険であり、分水嶺近くでは比較のおだやかという一見奇妙な地勢を示している。この様な地形的特徴は先にのべた気象の特徴ともあいまって、土地利用の現状に大きな影響を与えている。

土地利用は標高 1,300 m~1,500 m を境いにその上下で大きく異なっている。即ちこれより下方では土地の大部分は荒地であり、わずかの山羊や、羊の採食地として使われているに過ぎない。農耕地は wadi 沿いに狭く帯状に分布するのみであり、人々は貧しく、人口密度も小さい。1,300 m~1,500 m より上方では一転して農耕地、人口共に多くなり、当国の主要な社会的、経済的活動の舞台となっている。農耕地はすべてカット、麦などを主体とする畑地であり、急傾斜のためすべてが階段畑の形態をとっている。アルプスの様な大山地に段々畑が築かれている様子は正に壮観であり、人々が営々として費やして来た努力は、我が国の「耕やして天に至る」式のものとは比べものにならない。

#### b. 東斜面

東斜面は中央高地、東部高原地帯に区分される。

中央高地はその西縁を中央分水嶺、東縁をやはり南北に走る支山脈にはさまれた、それよりわずかに高度を下げた幅 10~20 Km の地溝状の地域である。地域の大半は扇状地やベディメント、沖積平地となっており、そこに平地との比高 50~100 m の小火山体が点在している。

この地域には当国の主要都市が立地しているが、これは防衛上優れた条件を備えているとともに、国内的には交易の容易な地形条件にあったためであろう。

農耕地の密度は西斜面における高標高部ほどではなく、通年の耕作地は山麓部に限られていることが多い。Ibb 付近の降雨に恵まれた地域や、Yarim のような盆状地では、恒常的な農耕地がほとんど全域にわたって広がっている。

中央高地の盆地状地形が構造運動によって形成されたものであるか否かは、地下水の調査にあたっては、非常に重要な問題である。新しい火山の存在はその可能性を示すものかも知れないが確証は得ていない。

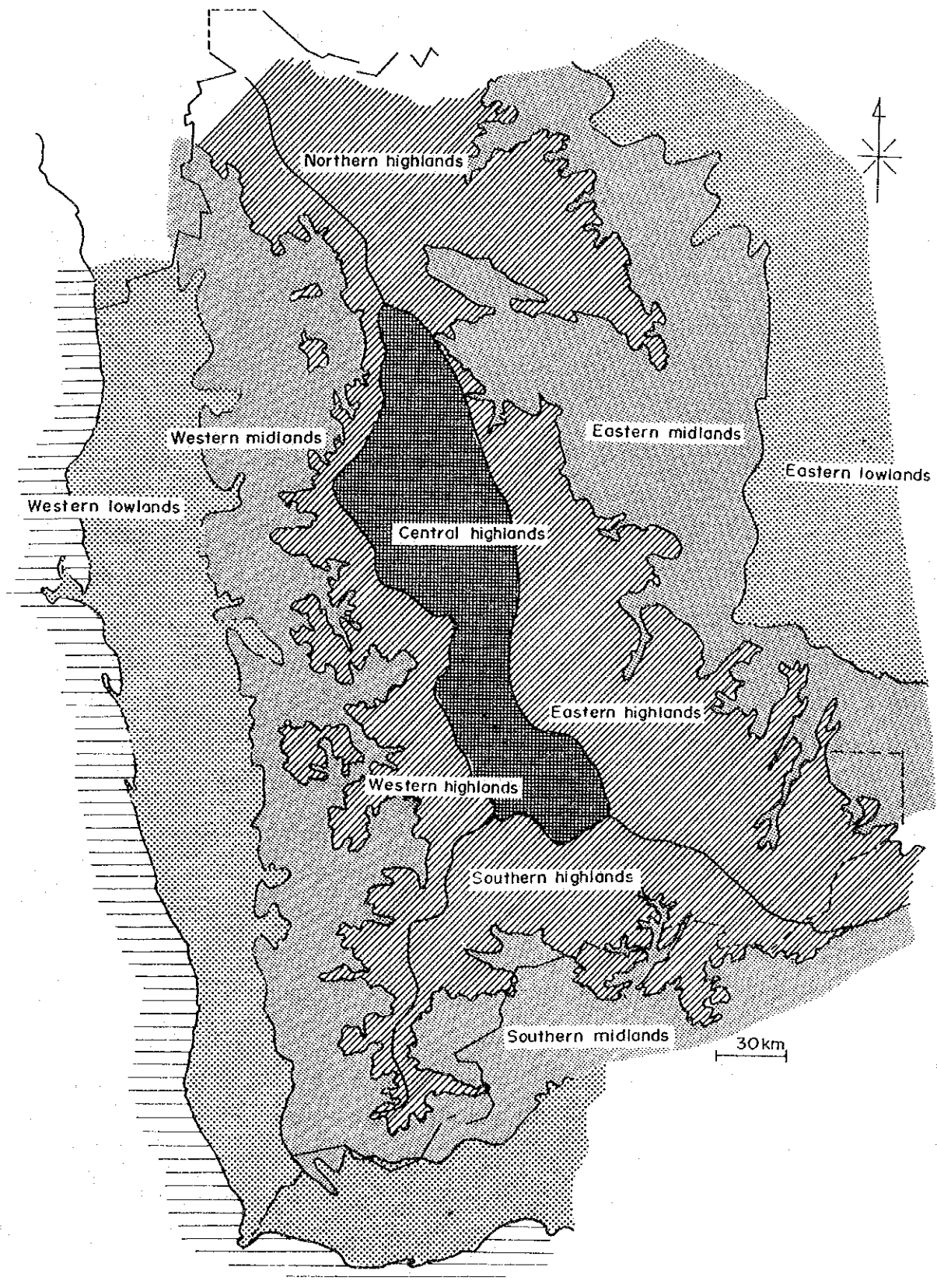
東部高原地帯は、中央高地の東側に位置し、標高 1,500 m 以上の起伏の大きい山岳性の地貌を呈する地域とその東側の 1,000~1,500 m の丘陵性の地貌を呈する地域とから成る。

なおこれより東は高度を次第に減じてついにはルブ・アル・ハリ砂漠へと続いている。

尚、参考として Swiss Technical Co-operation Service の作成した Y.A.R. の地形区分図を図 11 に引用しておく。



図11 イエーメンアラブ共和国の地形分類  
(Swiss Technicorl Co-operation (1978)による。)



#### 4) 水文地質区分<sup>※1</sup>

##### a. 地質層序とその水文地質的特徴

図12は五十嵐俊雄(1972)<sup>※2</sup>によって紹介されたY.A.R.における模式柱状図である。以下にこれに従って各々の水文地質的特徴を概説する。

##### 先カンブリア系：基盤岩

基盤岩層はアラビア半島西部盾状地をなしているもので、紅海に沿って北北西—南南東方向にのびている。これが地質的にイエメンの基盤となっている。岩石は火成岩と変成岩から成り立っている。火成岩は花崗岩、花崗閃緑岩、閃長岩、斑礫岩。変成岩は片麻岩、雲母片岩、緑泥片岩、絹雲母片岩、珪岩、大理石、石墨片岩等である。これらが見られるのはイエメン北部と南部である。

イエメン北西部の溪谷とタイズ市北部に僅かにみられる。地質時代は先カンブリア紀とみられている。

##### Wajid 砂岩層 (オルドビス紀)

オルドビス紀のWajid 砂岩がY.A.R.内の最も古い堆積岩である。これは基盤岩層の上に不整合にのっている。主な露出地は北部、北東部にある。河成あるいは風成の堆積物で石英砂岩、礫質砂岩、礫岩からなり細粒から粗粒までである。下部層は粗粒で固結度は高い。最下部層に基底礫岩を伴う。

この層準は北部Saadahでは主要帯水層となっている。Al Mahadirでは多数の手掘井戸が掘られて、水を得ている。これらの井戸の深度は20~45m、少量であるが、一般用水、かんがい用水に用いられている。Saadah盆地ではかんがいのさく井があり、100~120mの深度で0.4~0.6m<sup>3</sup>/分の揚水がみられる。Al Mahadirでは0.15m<sup>3</sup>/分の揚水井がある。ただしこの井戸は近傍を断層線が貫いているため水量が少ないと思われる。

Wajid 砂岩層の水質は良好で溶存分量は400~600ppmである。しかしSaadah付近では浅井戸の水質は悪く、溶存分量は1200~1600ppmあり、これはSaadahワジの石膏分、塩分によるためである。また沖積層を滲透した地下水はこの地域のWajid 砂岩帯水層の塩分を増加させている。

##### Kohlan 累層 (下部ジュラ紀)

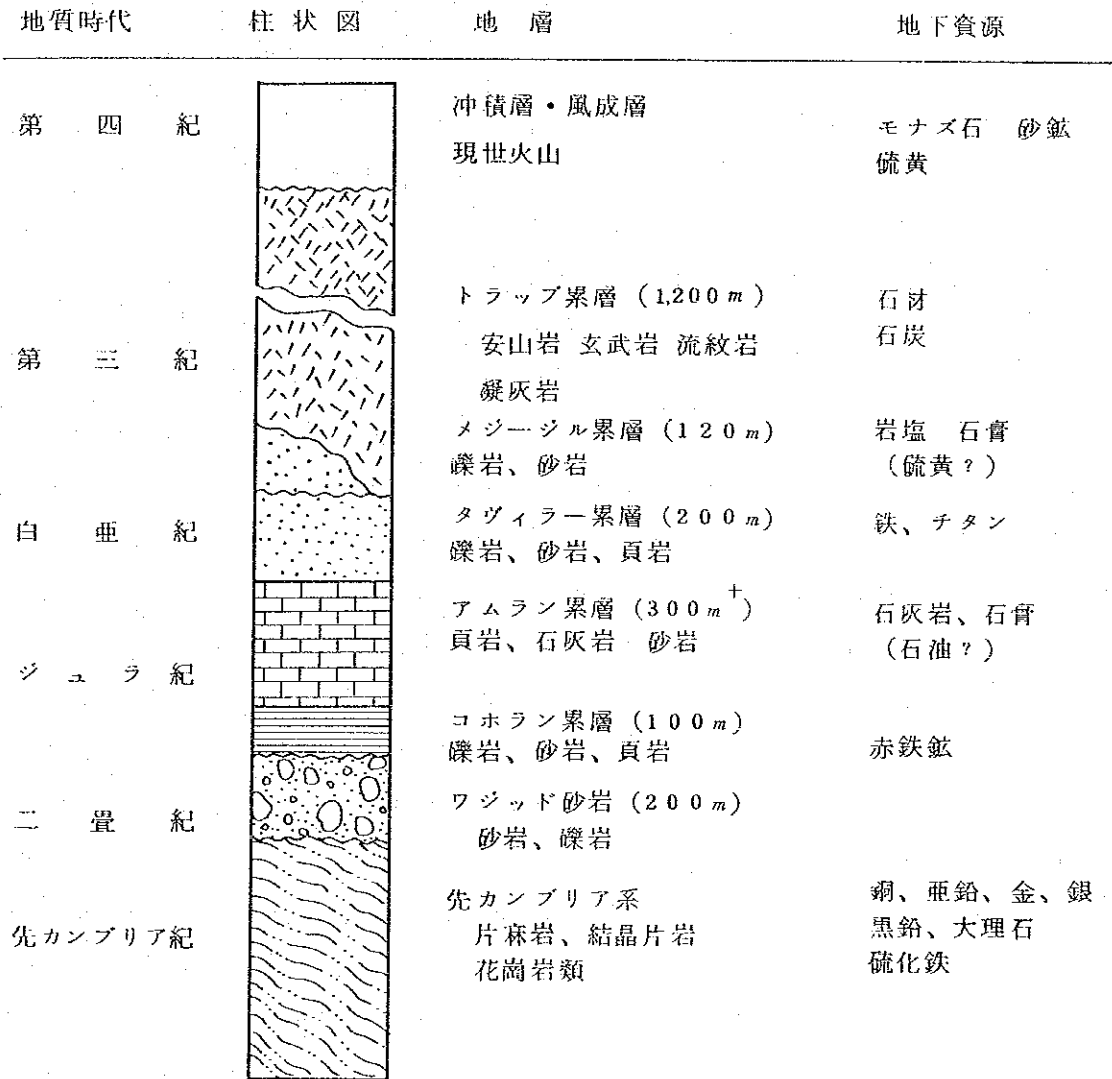
Kohlan 累層はWajid 砂岩層あるいは基盤岩に不整合にのるものでY.A.R.北部、北東部にみられる。湖成あるいは浅海成の黄白色石英砂岩で礫岩、頁岩、石灰質頁岩を含むもので、チャート、赤鉄鉱をも含んでいる。これらの厚さは100~300mとされている。正確な地質時代はJabal Mushawarにおいて化石より下部ジュラ紀(リアス階)とされた。

※1. この項の記載は主としてALI OZKAN(1978)の報告を引用した。

※2. [イエメンアラブ共和国経済開発計画調査]

図12

イエメン・アラブ共和国における模式柱状図(五十嵐、1972による)



Kohlán 統の上部で Amran 統に続いているところもあるので、地層境界は明確ではない。

浅井戸、湧泉はこの地層に見られる。2~2.4 m<sup>3</sup>/分の湧出量の得られる湧泉もある。深井戸は未だ報告されていない。Kohlán 統の砂岩は多孔質で透水性はよい。水質は一般用、かんがい用に適当である。Kohlán 累層は Sanaa Saadah 間では Amran 石灰岩の下位になっている。Amran 統を買いてこの層から採水する井戸は多量の揚水が可能である。Amran 統の実際の厚さはかなり厚いもので、低地では 700~800 m も Amran 統を掘り抜かねばならない。

#### Amran 累層

Amran 累層は Y.A.R. 各所で見られる地層である。海成層の石灰質の地層であり灰黒色、褐色の石灰岩、泥灰岩、頁岩、瀝青質石灰岩をも含んでいる。上部層は細粒の未固結砂岩、頁岩、石膏層からなっている。

Maareb 地区 Safir 付近には本層中に岩塩層が発見されている。Arhab、Haashed 地区では Amran 層は地質構造が複雑で断層等で切られ、侵入岩、火山岩等で貫かれている。

Amran 統の層厚は約 350 m と報ぜられているが、多数の深井戸が掘られた中部イエメンでは層厚が 600 m に達している。地層の傾斜を考慮すると 600~650 m と算出される。

Amran 統は化石を多く産し、上部ジュラ系と決められている。

Amran 統石灰岩は Y.A.R. で特に水利用に逼迫した地域にみられる層で中部、北部の山岳地域に多い。この地域には多数の集落が Amran 石灰岩の分布する高所にあるため、最も水に欠乏している。低平地、谷地においても水は少ない。湧水は谷、断層線に沿って出ているが、水量が少なく、季節的である。Al Kharid ワジ、Al Jauf ワジ Hajeriyah の泉などは不断の水量を有し、0.8~1.2 m<sup>3</sup>/分の湧水量である。

Arhab、Haashed Nihim、Harf Sufyan、Saadah では Amran 石灰岩からの揚水があり、深さは 150~350 m である。揚水量は少なく 0.1~0.4 m<sup>3</sup>/分であるが、Saadah 南部 Safra では 0.8 m<sup>3</sup>/分の揚水を見ている。

Amran 石灰岩は裂か、溶蝕開口をもっているため、よく発達しているところでは石灰岩層は産水層といえる。石灰岩層の上部の破さい部は雨水を集めやすい条件にあり、浅井戸の深度は 20~80 m の深さである。石灰岩下部層は帯水層となり、頁岩層、泥灰岩層で分離されて被圧水層となっている。水質はよく、全溶存成分は 600~700 ppm である。

一方浅井戸からの揚水の水質は 1,200~1,600 ppm となっている。

Amran 石灰岩層中の地下水に関する重要事項は低い水位と水量不足である。とくに高地では高揚程の深井戸ポンプが必要である。

低地では揚水量は少ないがさして問題ではない。

Tawilah 累層と Medi-Zir 累層 (白亜紀)

Tawilah 累層は Amran 層上に不整合にのるもので Y.A.R. の中部、北部、南部など各所に見られるものである。この地層は中粒から粗粒の陸成源砂岩で白色から赤色を呈する。

礫岩、シルト岩、鉄などもこの層中に見られる。Medi-Zir 累層もまた Tawilah 累層と同様で Y.A.R. 中部にみられる。これは古第三系とされるが層位に区別はない。

Sanaa 地区では一般用水の地下水源は Tawilah 層中である。南部 Hajeriyah 地方で井戸、湧泉がみられる。Sanaa 盆地北部では井戸が多数あり、深度は 200~300 m 級、揚水量は 1 m<sup>3</sup>/分 級である。Sanaa 東北部ではこの砂岩層より 0.1~1 m<sup>3</sup>/分 の湧水がある。南部の Hajeriyah では、この砂岩層からの井戸汲揚により多くの集落に給水している。地形は急しゅんであり斜面より湧水をえている。一方台地上では得られる水量は少ない。水平横坑を 20~60 m にわたって掘進採水するものもみられる。水質は一般に良好で、全溶存成分は 500~600 ppm である。現在の揚水過多のため Sanaa 平野では水位低下が年間 1.5~2.5 m に達している。

#### Yemen 火山岩類 (上部白亜紀~第三紀)

Y.A.R. の中、西、南部の大部分は堆積岩を挟んだ、この火山岩層に覆われている。これは別名 Trap 累層とも呼ばれる。白亜紀後期より第三紀にかけての火山活動によるものである。主に玄武岩、安山岩、粗面岩、流紋岩、凝灰岩、集塊岩から成り、湖成堆積物をも含んでいる。この火山岩類層は非常に厚く、破碎されているから、多孔質で透水性も大きい。Y.A.R. で最も重要な地下水源であるといえる。この層より採水している井戸は数多い。山岳斜面、断層線、谷より湧水があり、地層の層間より滲出しているものもある。山地では井戸の水量は少ないが平地では wadi に沿ったものに比較的水量が多い。

深井戸の深さは 100~300 m で、水量は 0.2~2 m<sup>3</sup>/分 である。深井戸はかんがい用水にも使用される。Sanaa 南部の山地ではこの火山岩が主要水源となっていて、厚さ 250~300 m の沖積層下でこの火山岩に達する。

一般に Yemen 火山岩層は被圧水層となっていて、水質は良好であり全溶存物量は 500~600 ppm である。

#### Baid 累層 (中新世-鮮新世)

Baid 累層は西海岸 Tihamah 地域にのみみられる頁岩、砂岩、石灰岩で、岩塩、石膏をも産する海成堆積層で時代は中新世から鮮新世である。

#### 第四紀玄武岩類

第四紀の新らしい火山岩はとくに Sanaa、Amran、Marib、Dhamar に多くみられる。火山錐体をなし、熔岩流もある。Sanaa 地方の火山は断層線に沿ったものと考えられる。Sanaa 平野北部で厚さ 415 m に達した玄武岩、凝灰岩、集塊岩層がある。Balad の泉は 2.3 m<sup>3</sup>/分 の産出をみている。玄武岩熔岩流は破さいされ、亀裂に富むので、低地では水が

得やすい。Amran Baydah 平野では 150 m の深井戸で 0.6~1.5 m<sup>3</sup>/分 の揚水がえられ、揚水試験では 0.8~1.2 m<sup>3</sup>/分/m を得ている。Dhamar 付近の大孔径井が玄武岩中から 2.4 m<sup>3</sup>/分 の揚水を得ている。

水質は良好で全溶存物量は 500 ppm 以下であり H<sub>2</sub>S、鉄は許容量以下である。

#### 沖積層

沖積層、段丘堆積物は wadi に沿ってみられるものである。砂、シルト、粘土、礫からなっている。紅海沿岸の Tihamah 平野や中央高原地帯では十分に厚い沖積層がかなり広く分布している。Tihamah 平野の沖積層は約 200 m 以上の層厚がある。Sanaa 盆地では Italc-consult の調査によると最大層厚 300 m 以上である。Sanaa 南方 Mabar でも 300 m 以上ある。

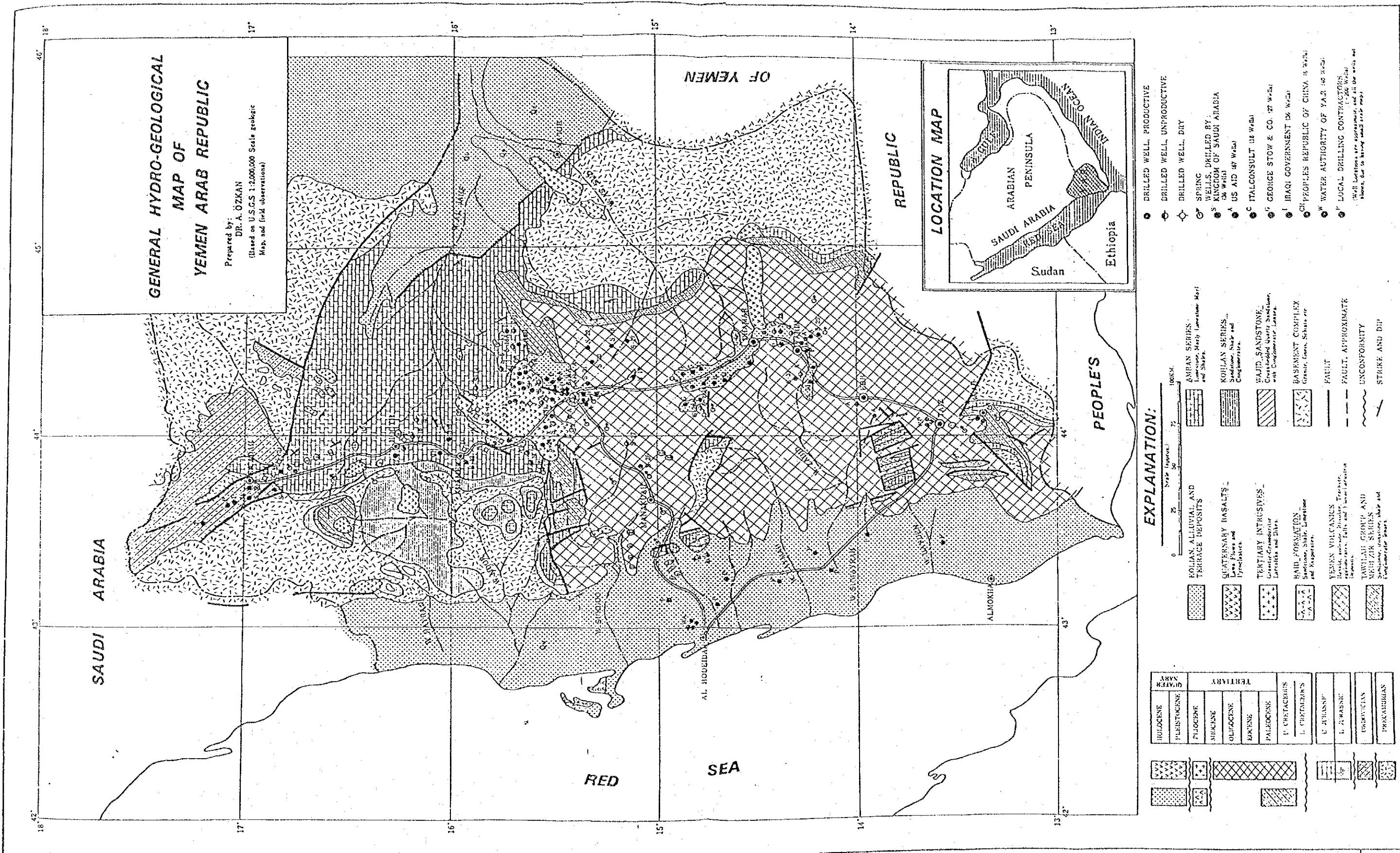
Tihamah 平野では沖積層から採水する多数の井戸があり、一般用、かんがい用に利用されている。

Hudaydah 地区では沖積層は 100 m 以上あり、深度 100 m 以内の井戸より 1.6 m<sup>3</sup>/分 程度の産出を得ている。Sanaa 南部では深度 100 m の井戸より 0.4~1.2 m<sup>3</sup>/分 の揚水が行なわれている。水位は降雨の影響を受けて、若干変動しているのがみとめられる。

沖積層の厚い部分では沖積層中の粘土層、シルト層により砂層中の水は被圧状態となっている。

山岳地域の水質は良好で飲用、かんがい用に適する。Hudaydah 付近では地下水中の塩分濃度が高く全溶存量は 2000~3000 ppm である。Tihamah 平野の帯水層は海水との連絡がある。現在のところ海水の強い浸入はみられないが、将来もし過剰揚水されれば塩水化が生ずるであろう。なお、浅層地下水の表流からの浸透による細菌汚染は概して少ない。

13 イエメン・アラブ共和国の地質図







b. 水文地質の地域的特徴

図13はY. A. R.の地質概要図であるが、これより当国の地質を、もっとも支配的に分布する岩層を主体として考えると、大きくつぎの6つに区分することが出来る。即ち、

i 沖積層が最も支配的に分布する地域

Tihamah平原、Rub Al Khali 平原

ii 第四紀玄武岩が最も支配的に分布する地域

Sanaa 市北部盆地地域

iii Yemen Volcanics が最も支配的に分布する地域

中央部以南の東西斜面

iv Kohlan Series が最も支配的に分布する地域

北西部山岳地帯

v Amran Series が最も支配的に分布する地域

中央北部の背稜山脈とその東斜面

vi Basement Complex が最も支配的に分布する地域

北東端部、北西端部、ならびに南東部

前項にのべた様に、水文地質条件からみたY. A. R.の主要地下水源は沖積層、第四紀玄武岩類であり、ついで、Yemen Volcanics、Tawilah Series、Kohlan Seriesとなっている。

沖積層は上記地域の外、山岳地帯内の盆地、ワジ沿いに分布しており、いずれも豊富な地層水が賦存している。故に水質を別とすればこの地域での水源の開発は容易である。

Yemen Volcanics 及び第四紀玄武岩地域では主として裂か水（火山砕屑岩層部、挟在する堆積岩層部では地層水）が賦存しており、地形条件が例えば丘の上あるいは山の頂きとというような極端な場合でなければ、地下水の取水がさほど困難ではないといえる。

Amran Seriesの分布する地域では、地下水の取水が一般に困難で、その賦存状態は裂か、亀裂、石灰洞のような局所的な構造に左右されるので、地形は勿論、表層地質だけの観察では水源開発の可否は判断出来ない。

Basement Complexの分布する地域では、ほとんど水を産しないと考えるべきである。風化帯部や割れ目、あるいは不整合等の異種岩層との境界部から、しみ出し程度の量の水が得られるだけであり、この地層が分布する地区では、地下水以外の取水法を前提とした調査が必要である。

その他、上記以外の地層、例えばWajid Series、Tawilah Group等は前項にのべてある如く、その透水性からは比較的豊富な地下水が産出することが報じられているが、いずれも地形条件が強力に影響する様な地域に点在して分布しているので、水源の種類またその

難易は詳細調査を持たねばならない。

## 5) 総 括

表流水、地下水を問わず、水に関するあらゆる事情は地形や地質に大きく規制される面が大きい。それぞれについては、「水文地理区分」、「地形区分」、及び「水文地質区分」において述べて来たが、これらを総合して標題のような区分が出来るとすれば、それは今後の水資源開発にとって有益であると考えられる。もとより今回の調査は短期間の視察の域を出るものではなく、これをなすとすることは不可能に近いが、敢て試論として、以下に記述することにする。

なお水事情に関する土地区分を行なうにあたっては本来、植生も考慮されねばならないが、当国においては、ひとしく植生に乏しいため、これを除外することとした。

地形や地質区分とは別に、水資源の賦存形態に関する地域区分を行なおうというのは、一に当国における地形と地質の関係が独立ではなく、前者に後者の情況が極めて良く表われているからである。つまり地表水の状況を大きく規制する地形に、地下水を規制する地質情報が豊かに盛り込まれているケースが多いので、把握の比較的容易な地形によって水事情に関する地域区分が可能と考えられるからである。

### a. 古期堆積岩地域

当国においては、一般に土壌と植生の発達が悪いため、堆積岩の層理が極めてよく地形にあらわれ、ケスタ (Cuesta)、ホッグバック (Hog bag) 地形を形づくっている。ここでケスタとは、地層の傾斜が  $10^{\circ}$  以下、ホッグバックとは  $15^{\circ}$  以上の場合をいう。両者の相異は地下水理的に重要な意味を持っているので、以下別々に記述することにする。

#### 1. ケスタ地形地区

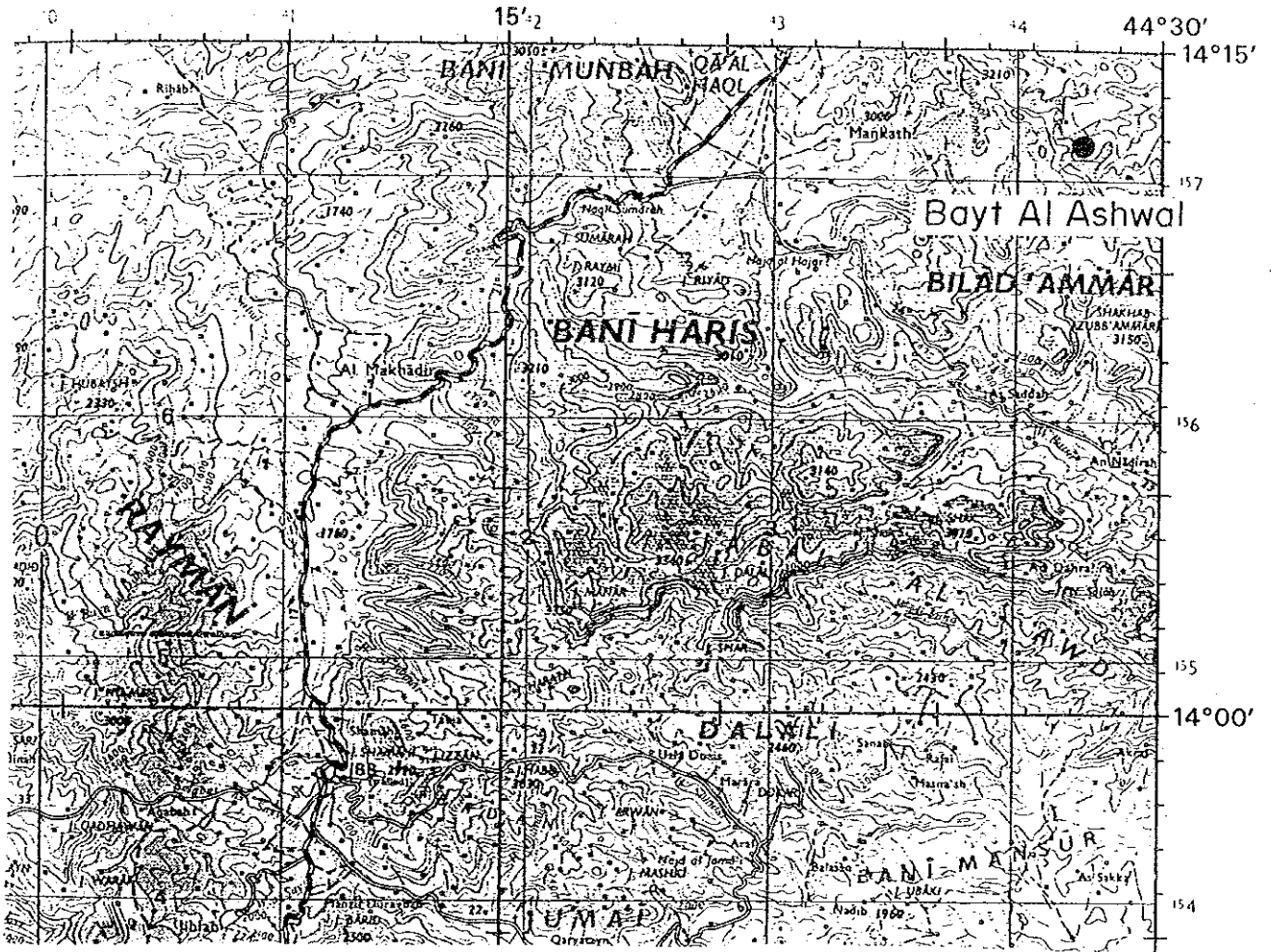
当国における重要な地下水層は各時期の堆積岩類及び火山岩類である。共に地下水の賦存様式は、第四紀以後の未固結岩層の地域を除いて裂か水的であるが、堆積岩地域での裂かの発達は、その地質構造に密接なので、マクロ的にみれば、地層水的であるともいえる。従って地層の傾斜方向は水理的に重要な意味をもっている (図 14)。

ケスタ地形地域においては地層の傾斜が緩やかであるため、地下水の動水勾配は小さいと考えられる。また緩傾斜の地層は一般に地質年代が若いので、岩石の固結度が低く、かつ空隙が大きいので地下水の貯留に都合の良い条件と考えられる。またいうまでもなく、表面流出、表面貯留、地下浸透は土地の傾斜に大きく規制をされることから考えて、ケスタ地域においては地下水の涵養に都合の良い条件であるともいえる。ことに水系網の発達が悪い当国にあっては緩傾斜をなす地域のところどころに凹状地がみられ、上記の傾向をいっそう明確なものにしている。

今回は、この種の地域を実地に調査することは出来なかったが、移動途中における、

図14 Rayman Bani Haris 地区におけるクスタ地形

(いずれも地層の傾斜は東北方である。)



TaizzからYarimにかけての高地、Sana'a西方、Matnah付近の高原状地はこの範ちゅうに属するであろう。いずれの地区においても豊かな農耕地が広がり、水事情は良さそうだという以外確認された事情はない。しかし論理的に考えて、このような地区では地下水の賦存状況は良好であり、深井戸のみならず浅井戸の利用も可能ではないかとみられる。なおSana'a西方、Matnah付近の高原状地においても浅井戸が多数存在していた。またSana'a市街の西南方10Kmに位置するHaddahでは当国としては極めて豊富な地下水が湧出しているが、ここはクスタ地形の末端に位置している。

## ii ホッグバック地形地区

Yemen Volcanics 地域をはなれると随所にこの地形が発達している。今回の調査においてはMahweetがその典型であった。地形が急峻なため表面流出が大きく、この種の地区では水事情が良くない。例をMahweetにとると、別章でも記述するように、井戸は皆無に等しく、わずかな湧泉とシスターンによって水を得ている状況である(図15)。

Hajjahはクスタ地形地区とホッグバック地形地区の中間的な性質を備えている。航空写真の判読によって得た当地区の地形、地質構造は図16のような状況である。花崗岩類の上のジュラ紀層が載っており、後者はHajjah市の北部で西方にPitchした向斜構造をなしている。谷が向斜部を切るところでは水量が豊富であるらしく、樹木によって覆われている。現にHajjahにおける水道の取水はこのような場所から採水している。

土地利用の状況はホッグバックのFore slopeとBack slopeで大きく異なっている。即ち土地利用は傾斜の緩やかなFore slopeに限られ、Back slopeが利用されている例はまずないといって良い。湧水の状況に関する両者の相異は明らかではない。

## b. 花崗岩、変成岩地域

この地域においては、先にのべた堆積岩地域に特有の、山稜を境にした斜面勾配の非対称性がないため、地形から堆積岩地域と、この地域とを比較的容易に区別することが出来る。踏査の行程においてはHajjah山地の下半部、Taizz周辺、Taizzの東南方のSeloなどでこれが観察された。水事情は悪く、土地利用もあまりなされていない。地形的には一般に急傾斜であり、また谷密度の大きなことが特徴的である。また所々に崩壊、ガリーが発達し、土砂の生産、流出が激しいことを物語っている。これと谷密度の大きいことは無関係ではない。また土砂の生産が激しいため、ガリー、谷の発達が促がされているようである。さらに地下水を賦存すべき風化土層が保存されていないため、表面流出が大きくなり、谷密度の増大をまねくことになる。こうした事情のため、当地域ではダム以外に安定した水源は得られないと考えられる(図16)。

## c. 第四紀層地域

これはベディメント、扇状地、ワジ、海岸平野、内陸盆地地区に分けられる。

図 15 Mahweet 付近の水文地理

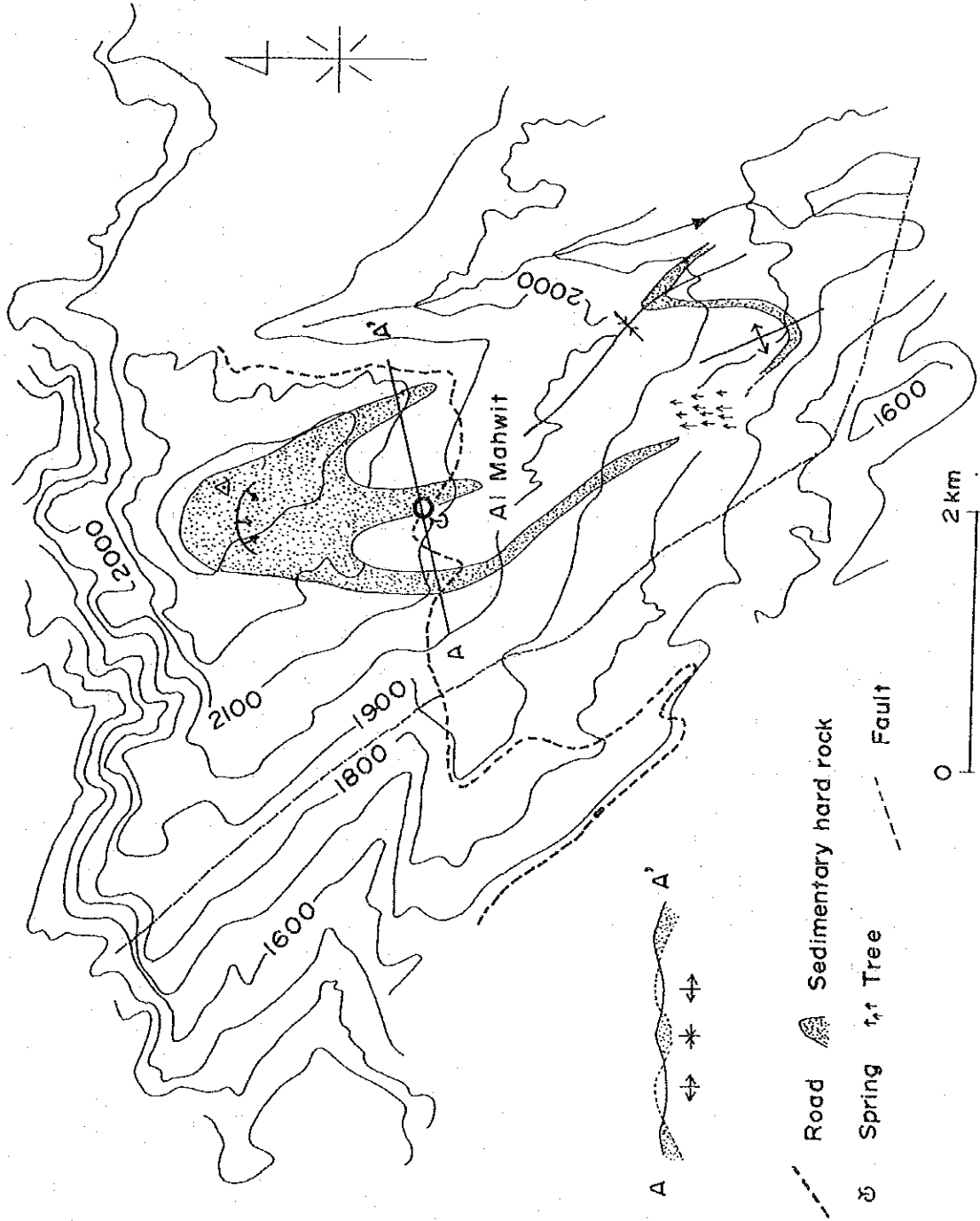
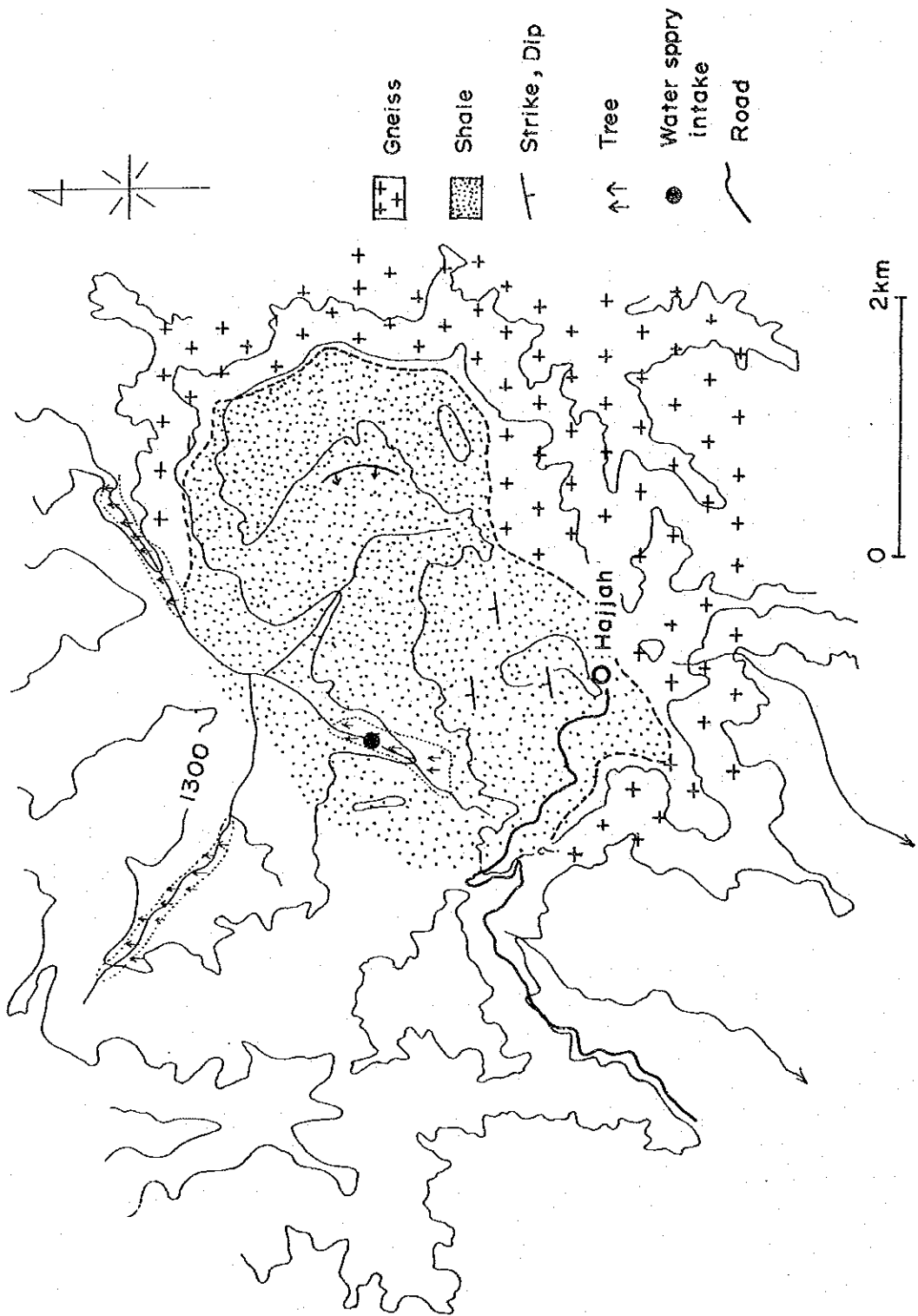


図16 Hajjah 付近の水文地理



## i ベディメント、扇状地地域

ここでベディメント (Pediment) について若干の解説をしておく。これは乾燥地域に特有の地形といわれ、山麓部における地表傾斜  $1\sim 10^\circ$  の緩斜面をいう。扇状地と似ているが、扇頂部の存在が顕著でなく、山地斜面の麓に一樣に広がっているのを特徴とする。扇状地についてはよく知られている言葉なので解説を省略する。

当国におけるベディメント、扇状地地形の分布は、Sana'a、Yarimなどにおける中央高地及びHajjah、Taizz、Seloなどにおける急峻な山岳地帯の山麓にみられる(図17、図18)。これらの地域では浅井戸が掘られており、当国における重要な一つの取水源となっている。

Sana'aなどにおける中央高地の諸都市においてはベディメント、扇状地からの取水によって用水の大部分を賄って来た。

急峻な山岳地帯の山麓に位置するベディメント、扇状地はほとんど例外なしに花崗岩、変成岩地域に属する。これはこの地質において、土砂生産が激しいことに対応しているよう。Taizz市街の載る扇状地はその好例といえる。

## ii ワジ地形地区<sup>\*</sup> (図19)

当国においてはワジとは枯れ川のみを示すものではなく、通年的に流水のある川も同様に呼ばれており、いわば谷と同義に用いられている様である。流水のみられる箇所は樹木が多く、この点に着目すれば航空写真のみによってもある程度、表流水は勿論、伏流水、地下水の様子を判読することが出来る。また狭窄部においては比較的よく表流水をみる事が出来る。ワジの周辺においては、浅井戸が数多くみられ、地下水も比較的豊富である様子がうかがえた。

## iii 海岸平野地区

Tihamah地域を指し、これにはベディメント、扇状地、ワジが含まれる。この他に砂丘地等があるが、水文地質的特徴はこれらと余り異なることはないと思われる。この地域では地下水以外の水源は考えられないが、浅層部、深層部を問わず、塩分濃度が高く、また水温も高いので、水質的には良いとはいえない。

## iv 山間盆地

成因については一樣でないにしても、中央高地、山岳地帯の各所に盆地が分布している。とりわけ、Sadah、Al Harf、Raydah、Amran、Sana'a、Dhamar、Ibb、Taizzは規模が大きく、しかも中央高地をほぼ南北に連ねて分布しており、構造的のものである可能性が大きい。これらの盆地には第四紀層が厚く堆積して、地下水の主要な帯水層の一つとなっている。

<sup>\*</sup> ワジの規模は谷幅数10~数100mのオーダーのものから、数Kmに及ぶものまで様々である。

図17 ペディメントの例 (中央部分がペディメント)

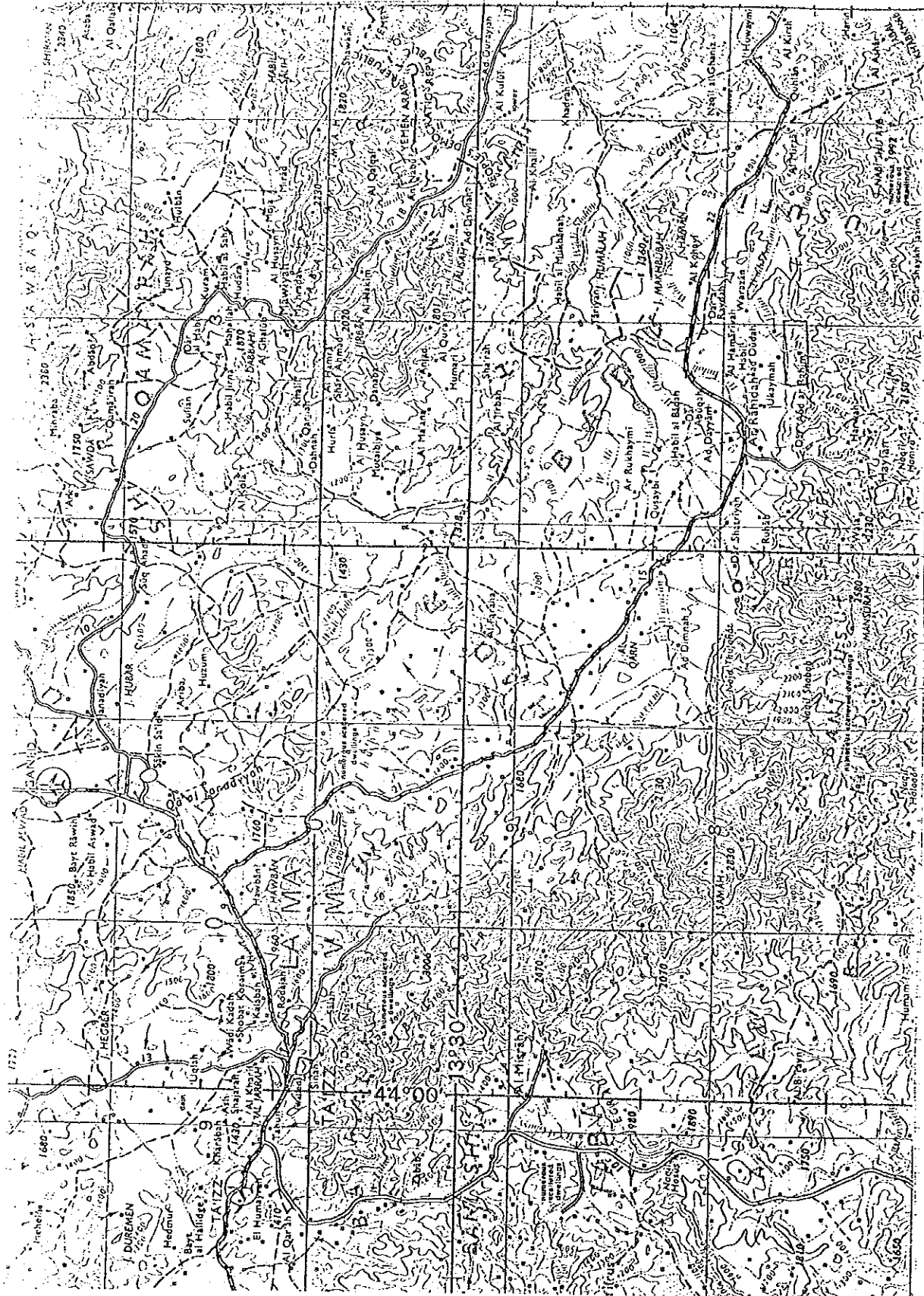




図 18 花崗岩類とペディメントの相関

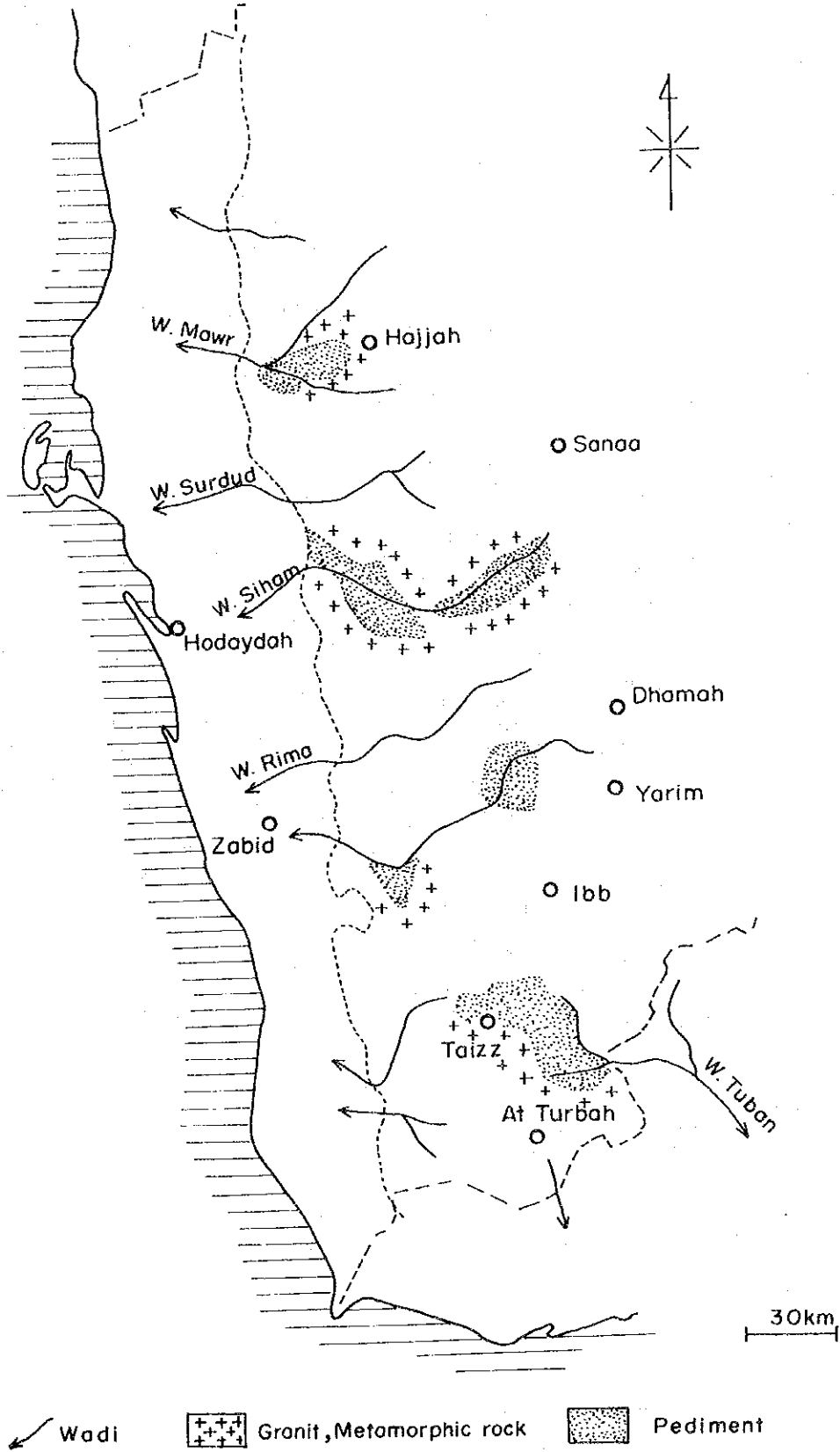
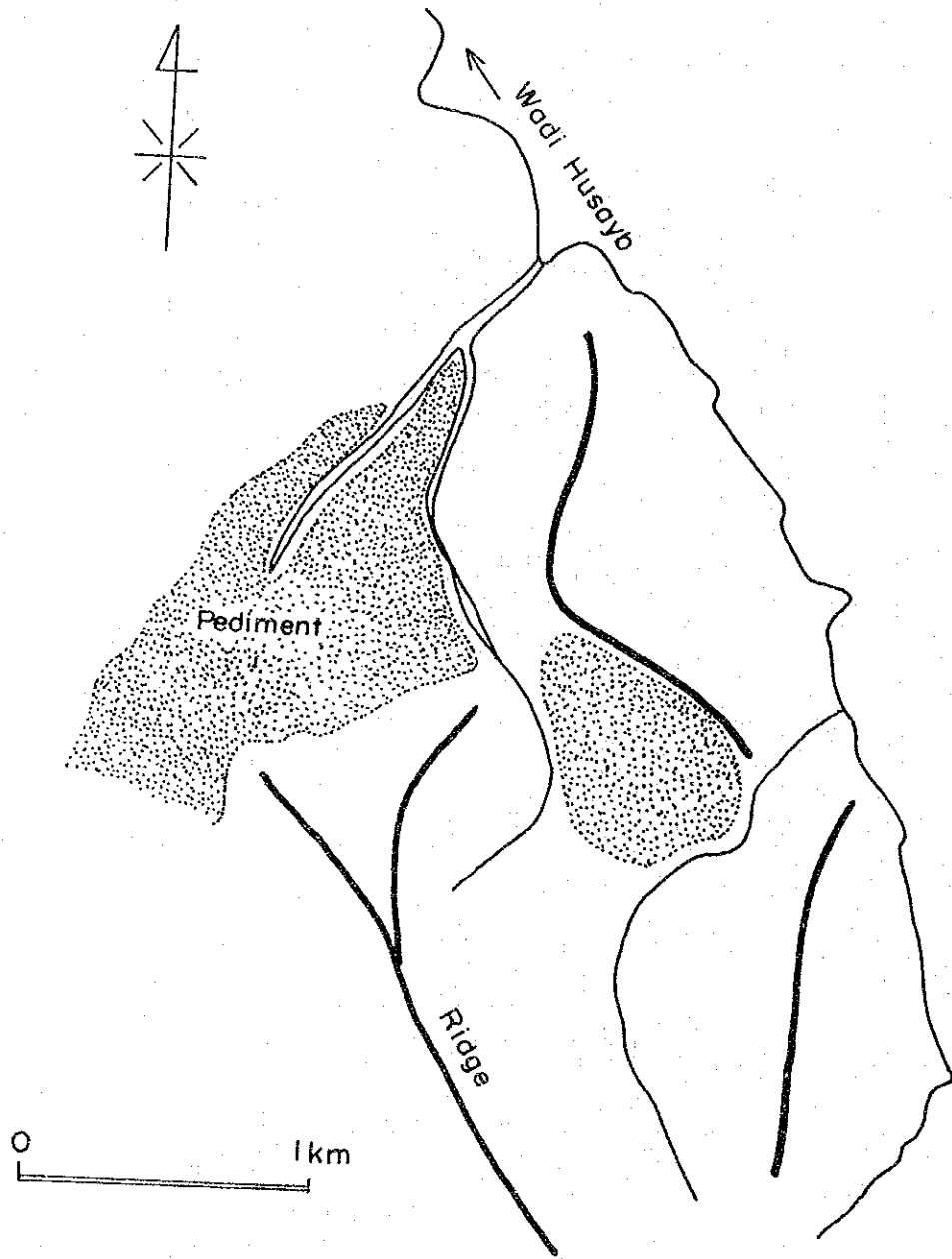


図19 Bahe Rahvtair 付近の地形



その他にも、小盆地あるいは地溝状の凹地が山間部に点在しており、地質的あるいは水文的条件にもよるが、地形的にはワジの集中などが指摘され、地下水開発の適地となっている。

#### d. 火山岩地域

Yemen volcanics、あるいは第四紀玄武岩が分布する地域では、裂か性の比較的豊富な地下水が得られることは前にのべたとおりである。

例えば Saudi aid で掘った井戸36本を、地質的にみると、この両者を対象とするものが、半数の18本と多く、地下水の産出量は他の地質を対象とするものより圧倒的に高い値を示している。水源対象地点が谷の部分あるいは盆地内である限り、水量の確保の点からみて最も安全な地域であるといえる。

## 2 Y. A. R. における水施設の現状と問題点

### 1) 水利用の背景としての土地利用の特徴

この国の地形的特徴は先にも述べた如く一口にいうと紅海に面した低平地であるTihamahの平原とその東につらなる山岳地帯に大別される。

これらの2つの地域の特徴は概略表7のとおりである。

表7 Tihamah平原と山岳地帯の特徴

	Tihamah	山 岳 地 帯
標 高	0 ~ 300 m	500 ~ 3,700 m
気 温	熱 帯 性	亜熱帯性~温 暖
平 均 年 雨 量	0 ~ 300 m/m	200 ~ 1,800
月 平 均 気 温	22 ~ 32 °C	10 ~ 24 °C
土 地 利 用	未 耕 作 地 多 し	耕 作 地 多 し
wadi 流 路	不 明 確	明 瞭
家 屋	芦の木の葉屋根の小屋	石 造
集 落		
(地域内の住民1000人 以下の集落の地域内 人口に対する比率、都 市部除き)	79.6%	90 ~ 99%
人 口 密 度	20~50 人/Km <sup>2</sup>	100人/Km <sup>2</sup> 以上
住 民	エチオピア系	アラビア系
文 盲 率	70~80%	Tihamah より低い

Tihamahでは気候は熱帯性で降雨少なく、家屋は芦や木の葉で屋根をふいたアフリカ型のものが多く、住民1000人以下の集落の比率(1000人以下の集落の人口/地域内の人口)は約80%と、山岳地帯のそれが90~99%であるのに比べると低く、大きな集落にかたまって生活している。

山岳地帯では気候は温暖で降雨もTihamahより多く、家屋は石造で、とくに標高1,500m以上では小集落が数多く散在しており、可耕地はあますところなく耕作されている。

その状況は図20に示すAl Mahweetの例が典型的である。

Al Mahweet市は人口約4,000、周辺には約22,000人の人々が住んでいるが、観察の結果から言えることはつぎのとおりである。

i 谷筋は水みちとなっているので谷底近くには集落はない。

- ii 集落は尾根筋または山腹斜面の途中にある平坦地であり、一連の斜面では家より上位標高には畑はなく、必ず最上部に家屋があり、その下に畑が続いている。畑は水平面を保つよう作られ、その結果山腹斜面に階段状に連なって土壌を保全するとともに、水を十分滞留させ浸透させるよう作られており、畑のあぜはコーランにあるようにその高さは踝程度である。
- iii Al Mahweet では標高の低いところは一般に斜面のこう配が急で土壌の保水力がなく、耕作には必ずしも良くないが、ある標高 (E1. 1500 m) を越えるところ配もゆるやかになり、土壌も黒く保水力のある農耕に適したものとなる。
- iv 集落は南斜面および東西にのびる尾根筋にあり北斜面にはあまりない。
- v 標高 1500 m 以下にはあまり集落はない。

Mahweet 市は Mahweet 州の州都で人口約 4000 人、家屋数約 450 戸と大きいですが、他の集落はいずれも規模が小さい。

このように高地に分散して住む理由としては、例えばつぎのようなことが考えられるが、いずれが決定的な要因であるかはさだかでない。

- i この国は昔から種族単位の抗争があり、現在もしばしば戦闘があり、安全面から小集落に分れ高地に住む。
- ii 谷底に近づくにつれて土石流の危険が増す。
- iii 高地ほど土壌がよく、降雨や露による水分が多く気候温暖のため農業に向いている。
- iv 水の乏しい所であるので泉や天水の量によって住民数に制限をうける (水のテリトリーの存在)
- v 伝染病に対する安全の確保
- vi 森林がなく眺望がよいので離れて住むことに孤立感がないため。
- vii 家屋で生産されるフン・尿を下の斜面に流し、肥料とするため。

このように Y. A. R. では高地では小規模の集落が山の尾根に点在するため、一つの水源から経済的・技術的に妥当な給水範囲が限られている。

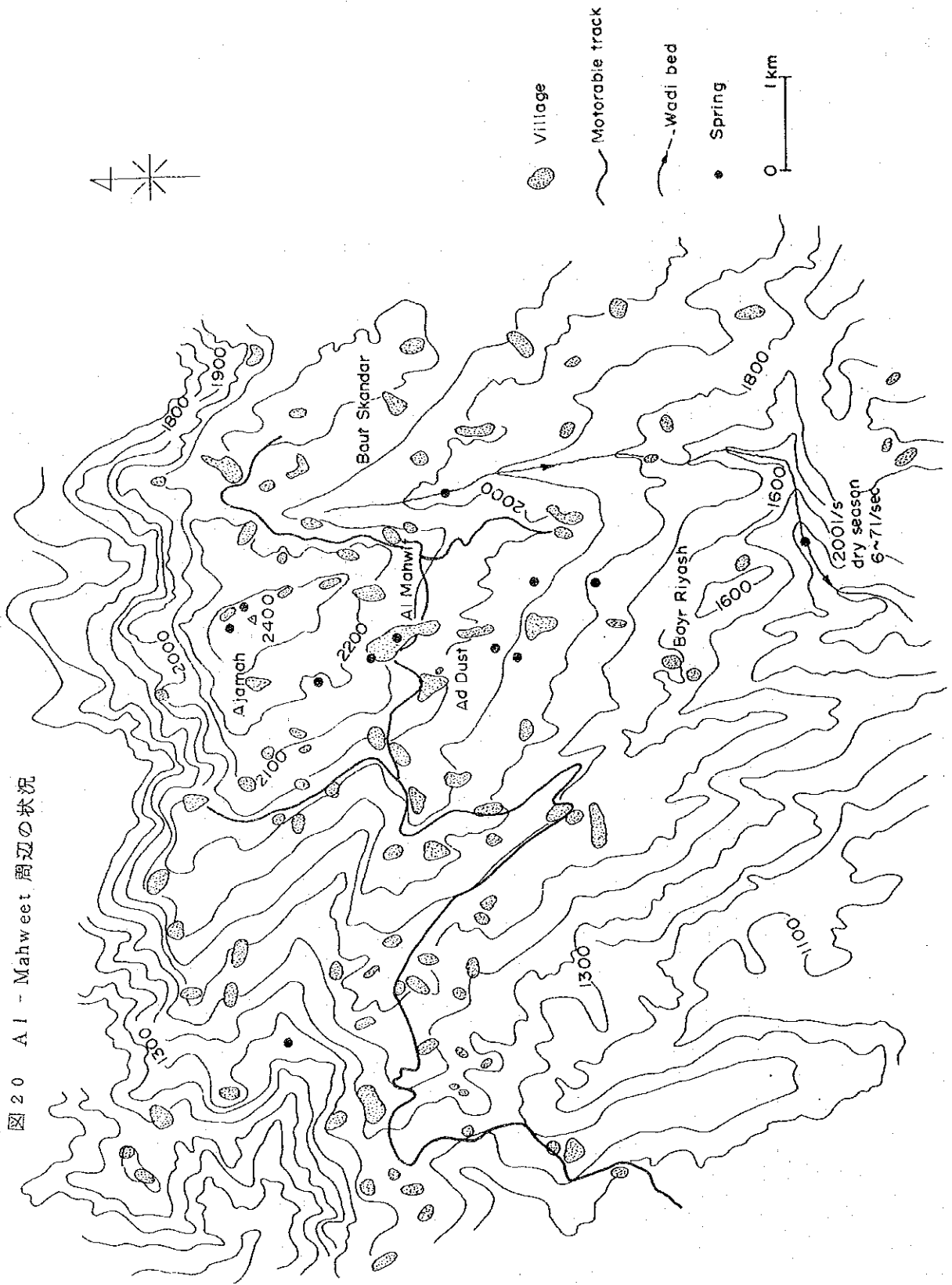
## 2) 水利用の地域的特徴

この国を水文・地形的特性から分類すると次の 5 つに分けられる。

- ① 紅海に面した Tihamah 平原
- ② 西斜面
- ③ 中央高地
- ④ 東斜面
- ⑤ 東部砂漠

今回の事前調査での調査地点は 23 地区であるが、それらは添付資料に示したとおりである。いま、各地区の水利用の段階を施設の形態によってつぎの 4 つに分けて考える。

图 20 A1 - Mahweet 周辺の状況



- (イ) 泉・天水（これを貯留する施設＝cistern）・池を利用する段階
- (ロ) 浅井戸（人・畜力で揚水）の段階
- (ハ) 〃（ポンプ・揚水するのみで遠くへ送水しない）段階
- (ニ) 深井戸または遠距離水源浅井戸（遠距離にある水源からポンプで利用地まで送水する。高揚程の場合も含む）の段階

水利用の段階としては、安定した水源ということ、比較的近年になってから採用されたこと、投資額の多少、利便性といった面から考えて(イ)が最も低次の段階であり、(ニ)が最も高次の段階であると考えられる。今回調査した2.3地区について、地域の特徴と水利用の段階とを区分して整理すると表8のようになる。なお表8でKabar、Madamは（ ）を付したものと（ ）のないものと2度計上されているが、（ ）を付したものは旧来の施設であったもので現在は（ ）なしに変わったことを意味している。また□を付した地区はwadi沿いの地区である。この表からつぎのような傾向が考えられる。

- i Tihamahや西斜面の低標高部は人・畜による揚水を行っている地区とポンプ揚水に切り換えた地区とがあるが、もともと浅井戸依存であり、今後も浅井戸による水源開発の可能性が高い。
- ii 西斜面高標高部、中央高地、東斜面では、地区名を□で括ったwadi沿いの一部の地区を除くと浅井戸はあまりなく、従来から泉や天水に頼っている。この地区で水源を開発するためには深井戸によるか、またはHajjah市のように遠く離れた水源からの送水によらざるを得ない。

表9に水利用段階と都市、集落の人口との間にどのような関係があるかを示したが、Sanaa、Taizz、Hajjah、Mansuriyah、Zabidなどの都市の水利用は高次の段階となっているが、それ以外には顕著な傾向は見られない。これはポンプの設置や深井戸の掘削が、外国の援助や政府の補助による場合には、必ずしも人口その他の要因での客観的な基準によって優先順位がつけられたものと考えられず、また富裕な個人や教家族の共同出資による場合には、人口の多少と直接的には結びつかないためと考えられる。

水質について見ると、表10にpH、表11にアルカリ度、表12に硬度、表13に電導度を示しているが、pHは7.0～8.0と全地域とも中性～アルカリ性であって、アルカリ性に弱い作物には不適であるが、飲料水としては、日本の水質基準でpHが5.8～8.6であることを考えると問題はない。

水中に含有されるアルカリ分を示すアルカリ度は水の酸化物・重炭酸塩・炭酸塩よりなり、一般に地質の影響を強く受ける。飲料水としては日本ではとくに基準がなく、味が悪くならない限り、その値の高いのは差しつかえないとされているが、値の低いものは鉄管を腐蝕しやすい場合が多いといわれる。

表8 地域特性と水利用段階

地 域	標 高	平均年降雨量	泉・システーション・他	浅井戸 (人・畜力)	浅井戸 (ポンプ)	深 井 戸 送距離水源浅井戸
〔海岸寄りTihamah 山麓寄りTihamah〕	0 ~ $\frac{m}{50}$	0 ~ $\frac{mm}{80}$		④ Al Ashlah ⑨ Musia	⑤ Al Rudeidy ⑧ Mansuriyah ⑩ Zabid	
	50 ~ 300	0 ~ 150		⑥ Dayr Abudhir ⑬ Mashajab ⑭ Huseih ⑮ Zaid	⑪ Jould ⑫ Oggia	
〔Tihamah寄り丘陵 西斜面(低標高)〕	300 ~ 500	0 ~ 300				
	500 ~ 1,400	200 ~ 400				
” (中標高)	1,400 ~ 2,100	300 ~ 600				
” (高標高)	2,100 ~ 3,700	600 ~ 1,800	③ Mahweet (Hajjah)			⑦ Hajjah* ②② Taizz
中 央 高 地	1,800 ~ 2,400	200 ~ 1,000	⑬ Yarimの南のシスターン (Kabar) (Madam)		⑮ Rubat Al-Gala	① Kabar ② Madam ③ Sanaa
	2,400 ~ 1,200	100 ~ 400	⑰ Bayt Al Ashwal ⑱ ” ⑳ Al Sehman		⑲ Al Bajad ⑳ Al Higlila	
東 部 砂 漠	1,200 ~ 800	0 ~ 200				

( ) は旧施設 ○は都市 □ は Wadi 沿い ※送距離水源浅井戸



表9 地域的特性と水利用段階と人口

地域	泉・システーション・他	浅井戸 (人・畜力揚水)	浅井戸 (ポンプ揚水)	深井戸・遠距離水源浅井戸
海岸寄りTihamah				
山麓寄りTihamah		④ Al Ashl ash (600) ⑤ Musia (400)	⑤ Al Rudeidy ⑧ Mansuriyah (4600) ⑩ Zabid (9100)	
Tihamah寄り丘陵		⑥ Dayr Abudhir ⑬ Mashajab (1,500) ⑭ Huseih (400~800) ⑮ Zaid (60)	⑪ Jould ⑫ Oggla (400~500)	
西斜面 (低標高)				
" (中標高)				
" (高標高)	③ Mahweet (2,500) (Hajjah)			⑦ Hajjah (6,000) ⑲ Taizz (8,100)
中央高地	⑱ Yarimの南のシステーション (Kabar)、(Madam)		⑯ Rubat Al-Gala	① Kabbar (800) ② Madam (1,000) ⑳ Sanaa (139,000)
東斜面	⑰ Bayt Al Ashwal (1,500) ⑱ " (" ) ㉑ Al Sehman (1,600)		㉒ Al Baiad (1,200) ㉓ Al Higlla (1,000)	
東部砂漠				

表10 地域的特性と水利用段階とpH

地 域	泉・システーン・池	浅井戸(人・畜力揚水)	浅井戸(ポンプ揚水)	深井戸・遠距離水源浅井戸
海岸寄りTihamah				
山麓寄りTihamah		④ Al Ashlash (7.9) ⑨ Musia (8.0)	⑤ Al Rudeidy ⑧ Mansuriyah (8.0) ⑩ Zabid (8.0)	
Tihamah寄り丘陵 西斜面(低標高)		⑥ Dayr Abudhir (7.2) ⑬ Mashajab (7.0) ⑭ Huseih (7.1) ⑮ Zaid (7.5)	⑪ Jould (7.1) ⑫ Oggla (7.0)	
" (中標高)				
" (高標高)	③ Mahweet (7.0~7.5) (Hajjah)			⑦ Hajjah (7.5~8.0) ⑲ Taizz ( )
中 央 高 地	⑯ Yarimの麓のシステーン (Kabar)、(Madam)		⑮ Rubat Al-Gala (7.5)	① Kabar ( 7.7 ) ② Madam ( 8.2 ) ⑲ Sanaa (7.5~8.0)
東 斜 面	⑰ Bayt Al Ashwal (7.0) ⑱ " ( ) ⑳ Al Sehman (8.0)		⑳ Al Baiad (7.5) ㉑ Al Higlla ( )	
東 部 砂 漠				

表 1 1 地域的特性と水利用段階とアルカリ度

地 域	泉・シスターン・池	浅井戸 (人・畜力揚水)	浅井戸 (ポンプ揚水)	深井戸・遠距離水源浅井戸
海岸寄りTihamah				
山麓寄りTihamah		④ Al Ashlash (20) ⑤ Musia (30)	⑤ Al Rudeidy (30) ⑧ Mansuriyah (25) ⑩ Zabid (30)	
Tihamah 寄り丘陵 西斜面 (低標高)		⑥ Dayr Abudhir (40) ⑬ Mashajab (40) ⑭ Huseih (50) ⑮ Zaid (35)	⑪ Jould (45) ⑫ Oggla (50)	
" (中標高)				
" (高標高)	③ Mahweet (10) (Hajjah)			⑦ Hajjah (30) ②② Taizz ( )
中 央 高 地	⑰ Yarimの南のシスターン (Kabar)、(Madam)		⑯ Rubat Al-Gala (20)	① Kabar (20) ② Madam ( ) ②③ Sanaa ( )
東 斜 面	⑰ Bayt Al Ashwal (20) ⑱ " ( ) ⑳ Al Sehman (15)		⑳ Al Baiad (25) ㉑ Al Higlla ( )	
東 部 砂 漠				

表 1 2 地域的特性と水利用段階と硬度

地 域	泉・システーション・他	浅井戸 (人・畜力揚水)	浅井戸 (ポンプ揚水)	深井戸・遠距離水源浅井戸
{ 沿岸寄りTihamah 山麓寄りTihamah		④ Al Ashlash (250) ⑨ Musia (550)	⑤ Al Rudeidy (450) ⑧ Mansuriyah (800) ⑩ Zabid (350)	
{ Tihamah寄り丘陵 西斜面 (低標高)		⑥ Dayr Abudhir (300) ⑬ Mashajab (600) ⑭ Huseih (450) ⑮ Zaid (300)	⑪ Jouid (500) ⑫ Oggla (500)	
" (中標高)				
" (高標高)	⑯ Mabweel (Hajjah)			⑦ Hajjah (300) ⑲ Taizz (1250)
中 央 高 地	⑰ Yarimの南のシステーション (Kabar)、(Madam)		⑭ Rubat Al-Gala (250)	① Kabar (200) ② Madam ( ) ⑲ Sanaa (275)
東 斜 面	⑱ Bayt Al Ashwal (200) ⑳ " ( ) ㉑ Al Sehman (100)		㉒ Al Baiad (350) ㉓ Al Higlla ( )	
東 部 砂 漠				

表 1 3 地域的特性と水利用段階と電導度

地 域	泉・シスターン・他	浅井戸 (人・畜力揚水)	浅井戸 (ポンプ揚水)	深井戸・遠距離水源・残井戸
海岸寄りTihamah				
山麓寄りTihamah		④ Al Ashlash (630) ⑨ Musia	⑤ Al Rudeidy (830) ⑧ Mansuriyah (1,000) ⑩ Zabid (390)	
Tihamah 寄り丘陵				
西斜面 (低標高)		⑥ Dayr Abudhir (850) ⑬ Mashajab (420) ⑭ Huseih (510) ⑮ Zaid (330)	⑪ Jould (670) ⑫ Oggia (690)	
" (中標高)				
" (高標高)	⑳ Mahweet (Hajjah)			⑦ Hajjah (330) ⑳ Taizz ( )
中 央 高 地	⑲ Yarimの南のシスターン (Kabar)、(Madam)		⑯ Rubat Al-Gala (350)	① Kabbar (300) ② Madam (165) ⑳ Sanaa ( )
東 斜 面	⑰ Bayt Al Ashwal(210) ⑱ Qa Al Haql ( ) ㉑ Al Sehman (200)		㉒ Al Baiad (450) ㉓ Al Higlla	
東 部 砂 漠				

この国の値はいずれも20~50ppmの範囲で、1964年の多摩川、ライン河の平均値がそれぞれ85.131ppmであったのに比べると低い値である。なおpHとアルカリ度は必ずしも比例するものではない。

硬度は日本の飲料水の水質基準では300ppm以下となっているのに比べると天水を利用している西斜面高標高部、中央高地、東斜面は低いが、他の地域は必ずしも低くない。

電導度も同様に天水利用の地区以外は高く、とくにTihamahでは塩分濃度が高いことを推測させる。

なお表には示していないが鉄分は一般に低く全地区にわたって0.2ppm以下であった。

この国の労働人口の80%は農業に従事しており、耕作されている土地はTihamah平原と山岳地帯の山頂まで広く分布している。山岳地帯の高標高部は安定した大規模な(一戸や二戸のというのではないという意味で)水源を確保しようとするればどのような形式の水源であっても集水面積等の関係から集落より低標高の地点にならざるを得ない。小規模の集落が点在しているため、一つの水源を確保しても供給できる範囲は経済的・技術的な意味で制限を受け、長いパイプラインを設置して遠距離まで送水するとコストが大巾に増嵩する。このため集落を低平地に誘致して効率的に水供給を行なうという考えもあり得るが、MahweetやHajjahなどに見られる如く、ある標高以下では地形はこう配も急で土壌もあまり良くないが、ある標高以上になるとこう配も相対的にゆるやかになり、土壌も黒く、保水力もあり、永年にわたる人々の丹念な手がかかっているため肥沃な耕地になっていることを考えると、人口を都市へ集中させることは農業依存の生活形態を例えば工業依存に大巾に変更するといった場合以外は取るべき施策ではないと考えられる。

反対に農村で集落を大きくして人口を集めるという考えもあるが、道路状況が悪く、畑へのアクセスに要する時間が長くなる点から考えると得策ではない。

### 3) 泉・天水・池を水源とする水利用の状況と問題点

この段階の水利用について、その状況を整理すると表14のとおりであるが、この表およびこれに記載しなかった多くのcistern等の観察から考えられることはつぎのとおりである。

- i 泉の湧水量の季節的変動は必ずしも小さくない。
- ii 天水をためるcisternは、一般に集水面積の必ずしも大きくない位置にある場合が多い。このことは降雨が必ずしも少くないことを示している。
- iii 泉・天水・池に依存している集落は水の不足によって家畜の数が制限されており、例えば泉を主たる水源とするMahweetでは、しばしば水が枯れ、10Km離れた泉からトラックで水を運んでおり、そのコストは20ℓにつき3リアル(126円)である。この市の人口2,500人に対して家畜1,000頭であるのに対し、wadi沿いの浅井戸(ポンプ揚水)を20ほど持つAl Higllaでは人口1,000人に対し家畜12,000頭をもっている。

表14 泉・池・シスターンの状況

地区名	集落の位置	水源の位置	水源の種類	Liningの有無	集水の手段	形状 (たて×よこ×深さ) m	容量m <sup>3</sup>	備考
Madam	丘陵上と斜面	集落の下の wadi bed	cistern	コンクリート	wadiを横断する盛土	2.6 × 2.0 × 5	2,600	
Mahweet	山腹斜面	山腹斜面 (集落の下)	泉	-	-	-	-	湧水量 60ℓ/min
"	"	山腹の平坦地	cistern	コンクリート	谷すじに石積	円形 半径4.05 m 深 5.7	198	最近建設した
"	"	"	"	"	なし	6.4 × 2.3 × 3.7	5,500	"
Hajjah	"	"	"	石張	"	3.01 × 2.32 × 3	2,100	現在は使用されていない
Bayt Al Ashwal	"	斜面下の平坦地	池	なし	周辺の水が池へ集るより溝が掘ってある	円形 半径 5 m 深さ	-	乾期は干上る アンモニア 0.5 ppm
"	不明	岩山の山腹斜面	地下の cistern	岩	山腹で集水盛土	5.7 × 4 × 3.1	64	ノミで掘削
Yarimの南8 Km	山間の盆地	山間の盆地	"	コンクリート	集水用盛土	円形 最大半径 7.05 m 深 4.75	420	かんがい用
Al Sehman	傾斜ゆるい丘陵	丘陵につらなる低地 (集落より約2 Km) (wadi bed?)	池	なし	水が集まる地形	円形 半径 2.2 m 深 3.5	-	無降雨続けば干上る
Banishadad	不明	岩山の山腹斜面	cistern	岩	集水用盛土	不明	不明	

- IV 集落に近い cistern は集水面積を大きくとるため、あるいは cistern の overflow を恐れるためなどの理由から、集落の下にあることが多く、汚水や汚物の流入により汚染される可能性がある。
- V 集落から離れた池やシスターンでは家畜を直接水飲みにつれていたり、または水運びのための家畜のフンによって汚染される可能性が考えられるが、今回調査では 1 地点を除きアンモニアは検出されず、むしろ N の形でプランクトンや藻の状態で水中に存在している。Bayt Al Ashwal で岩山をくりぬいて直接日光がさしこまない部落から離れたシスターンの水が透明であった以外は、すべてのシスターンの水は緑色を呈していた。
- VI 従来まで天水 (cistern) に依存していた地区に井戸が掘削された場合、domestic 用水はすべて井戸水に切り換えられ、cistern の水はほとんど使われないうち、または建築用水などにのみ使われるようになる。これは SS 等の水質の面で井戸水が cistern の水よりきれいなためである。
- しかし、cistern に屋根をつけて直射日光を防いで蒸発や有機汚濁を防ぎ、cistern 周辺を舗装してホコリや泥の流入を防ぐなどの手段を講じて水質保全をはかるとともに、砂ロカ等の浄化施設を組み合わせ、水質の浄化をはかって cistern の水をも他の水源と併用すべきであろう。なんとすれば天水はコスト的に最も安いからである。
- VII Mahweet 市の泉はたれ流して家庭用水を汲んだ残りを標高の低い畑にかんがいに使っている。非かんがい期や雨期の水量の増えた時に余剰水を貯留し、渇水期に利用する可能性を検討すべきである。
- VIII cistern への貯留を確実にするため、wadi を横断する盛土を設置したり、谷筋に石積みや設けたり、山腹斜面に集水用盛土を設けたりシスターンに続く水路網を設けるなど、出水時に cistern に水を集める工夫はいろいろなされている。
- IX cistern は現在は 1 年サイクルで利用されているが、容量を大きくとって数年サイクルの水利用の可能性も探る必要がある。
- X 最も水の不足する地域での水利用原単位は Madam では cistern に依存していた頃に 7~14ℓ/人・日 (家畜の分を含む) Al Sehman 8~13ℓ/人・日 (同) であるという。
- Al Sehman ではある標高以上は不毛の砂漠や岩山であるが、低い位置に畑があり各戸にブリキ製の 1 m<sup>3</sup> 入の水タンク (25,200 円) を持っており、主たる水源である池は最も低い位置にある。またここでは降雨をできるだけ利用するため斜面に盛土してシスターンを作っているが、lining されていないため水はすぐ浸透してしまう。
- Mahweet よりの帰路に見た 15 のシスターンのうち、水がたまっていた 6 のうち 5 は lining されていたが、干上っていた 9 は lining されていなかった。
- XI Bayt Al Ashwal の帰路凝灰角礫岩の地山をくりぬいた cistern があった。その詳細



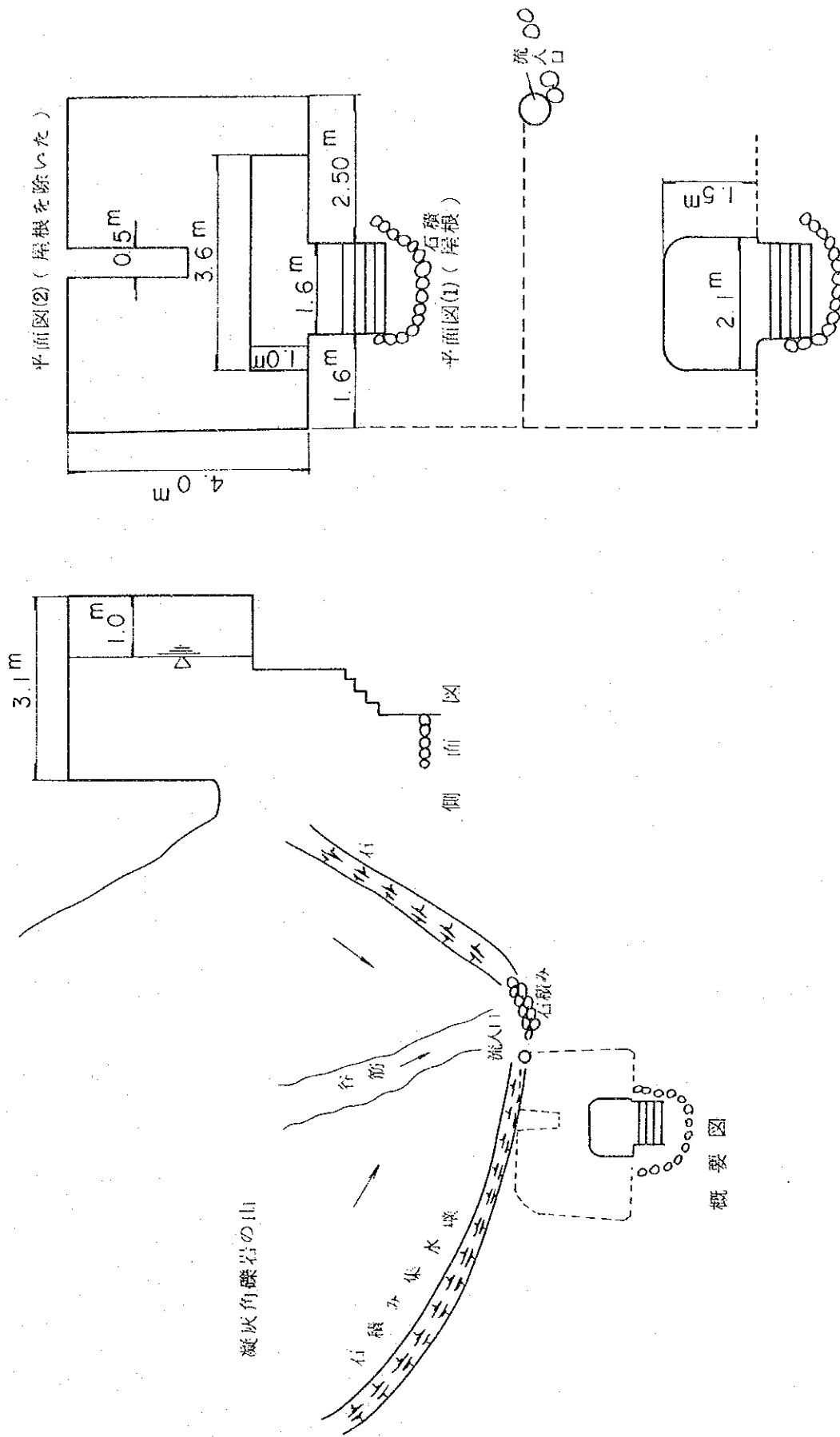


図 21 Bayt Al Ashwal の Cistern

は図21に示すとおりであるが、山腹に岩を積み上げた集水壁をつらね、水みちに cistern への流入口をあけている。平面図(1)は上から見た屋根のある状況で平面図(2)は内部の詳細を説明するために屋根を除いたものである。この cistern は飲料水専用であってすぐ近くに洗濯用の cistern が別にあった。

この掘削はノミの手掘りで壁はきれいに仕上げている。掘削したのは昨年で水は汚れていない。

#### 4) 浅井戸(人・畜力による揚水)の状況と問題点

調査した地点の状況は表15に示すとおりであるが、車中より観察した地点も含めて考えると、その特徴としてつぎのようなことが考えられる。

i 平原にある井戸は集落から離れた地点にあるものが多く、その地点を選んだ理由は不明である。

ii 西斜面の井戸は谷の出口といった地形の位置にある。

iii 井戸深は一般に Tihamah の方が他地域のものより深い。

iv 水の汲み上げに用いるロープや滑車は共同のものでなく個人個人で用意している。

v 井戸は手掘りで井戸口は石積み等がなされている。

vi 井戸の周囲は家畜のフンが落ちているが水がアンモニアに汚染されている地点は1地点のみであった。

vii 帯水層への突っ込みが浅く乾期にはしばしば干上るものが多い。とくに表15の Mashajab と Huseih はしばしば干上り、とくに Huseih は4~5カ月間しか使えないとのことである。

#### 5) 浅井戸(ポンプ揚水式)の状況と問題点

今回調査した地点の状況は表16に示すとおりである。

井戸の深さは Tihamah の平原に掘られたものの方が西斜面の山地や wadi 沿いに掘られたものに比べて深い。

井戸の掘削にあたっての費用の負担は表16の番号①, ④, ⑤および⑦の井戸については数家族あるいは個人が負担しており、②, ③および⑥は外国や Yemen 政府の補助あるいは集落の構成員の共同出資等によるものである。Private の井戸は domestic 用途のみならず、かんがいにも使われているようで、とくに貯留タンク等もなく、たれ流しであった。

しかし②, ③は貯水タンクやクリーニングタワー(詳細は不明)などの施設を有している。

④の Jould の例では4家族の共同負担し掘削費およびポンプ等の設備費に165千リアル(約660,000円)と井戸の掘削位置をきめるために「水さがし屋」(日本の弘法大師のように不思議な靈感で水をさがすという)に700リアル(約29,000円)を支払ったとのことである。

また Al Baiad では1,200人の住民の中の10家族(約50人)にはパイプで水を家庭まで

表 1.5 浅井戸 (人・畜力揚水) の状況

地区名	地域特性	井戸の位置	標高	井戸深	水面深	帯水厚	その他
① Al Ashlah	Tihamah	平原	200 <sup>m</sup>	<sup>m</sup>	38.5 <sup>m</sup>	<sup>m</sup>	
② Musia	"	"	120	38.6	37.0	1.6	
③ Dayr Abudhir	西斜面 (低標高部)	谷の中	700	10.9	10.4	0.5	
④ Mashajah	"	谷の出口	1,160	10.4	10.2	0.2	アンモニア0.5 ppm 検出
⑤ Huseih	"	"	1,200	17.5	16.1	1.4	
⑥ Zaid	"	平原	1,130	10.7	5.2	5.5	

表 16 浅井戸（ポンプ揚水）の状況

№	地 区 名	地域特性	井戸の位置	標 高	井 戸 深	水 面 深	帯 水 厚	所 有 者	そ の 他
①		Tihamah	平 原	m	2 4.9	2 1.6	3.3	個 人	
②	Mansuriyah	"	"	8.0	?	?		政 府	
③	Zabid	"	"	1 2.0	?	?		"	
④	Jould	西 斜 面 (低標高)	wadi 沿い	1.0 0.0	1 1.5	1 0.5	1.0	個 人	
⑤	Ogla	"	平 原	1.3 0.0	1 8.8	1 0.8	8.0	"	
⑥	Rubat-Al-Gala	中 央 高 地	"	2.5 5.0	8.2	5.8	2.4	不 明	アノモニア 5.0 ppm 検 出
⑦	Al Baiad	東 斜 面	wadi bed	2.2 1.0	1 2.1	5.0	7.1	個 人	

供給しており、その費用は20リアル/家/月(840円/家/月)であるという。

経済力の弱い住民にとってこの負担は決して軽いものではないらしく、水量には不足はないが、公共の井戸を掘って水価を下げてほしいという強い要望があった。

調査した地点のいずれにおいてもポンプ等は稼動中であったがMansuriyahの井戸の管理人の話では、ポンプは2台あるが1台は動いていない。これは故障した場合のスペア・パーツが得にくい(日本製は得やすいので当初のポンプが故障したときに住民が金を出して日本製にかえたため2系列になっているとのことである)ことおよびパイプに物がつまったときに取り出す道具や手段がないため放置せざるを得ないためであるという。

#### 6) 深井戸および遠距離水源浅井戸の状況と問題点

この段階の水利用は表17の3地点とSana'aおよびTaizzの深井戸がある。

##### a 深井戸

Kabarの深井戸はSaudi Arabiaによる援助で掘削され、Madamのは住民が政府の補助を受けて掘削したものである。いずれも広いwadi bedの中に位置し、部落から1Km~1.3Km離れている。

wadi bedの中ではどこを掘っても深井戸による水の確保は可能と考えられ、どのような考えで地点を決めたのかは良くわからない。

Madamでは水使用の原単位は約50ℓ/日(家畜の分を含む)であるが、井戸の完成する以前には湯水年は7~14ℓ/日までに制限せざるを得なかったため、人口も規制され、Sana'aなどの都市へ出稼ぎに行っていたとのことである。しかし、井戸完成後は人口も都市から帰ってきている。

深井戸に故障が発生した場合には政府から修理工が派遣されるが全国で3名しかいないため手がまわりかねる場合もあるとのことである。

##### b Hajjah

1975年のcensusによるとHajjah provinceは人口22760人、家屋4252戸、Hajjah市は人口5988人、家屋963戸となっているがDeputy Governorの話では人口15000 家屋数3000戸とのことである。彼の話によるとHajjah市の水源は3つの大きなcisternと3つの泉とのことであり、井戸で水を確保するのが難しい地形だという。

cisternの1つは表14に示したとおり、30m×23m×3mのもので石張りされているが水はブランクトンで緑色となりメタンガスが吹き出ている状態で現在はつかわれていないようである。

現在の主たる水源は北方約5Kmの標高差550m下の地点に掘られた浅井戸によっている。浅井戸はwadi沿いにあり、図22に示すようにwadiを横断して設けられた砂防ダム(又は落差工)により水位を上げ取水している。

表17 深井戸および遠距離水源浅井戸の状況

地区名	集落の位置	水源の位置	水源の種類	水源施設と送水施設
Kabar	山腹斜面	集落より1Km 離れた wadi bed	深井戸	井戸深 158 m 84m <sup>3</sup> の容量の調整タンク 水面深 60~95 m 外径9 cmの鉛管で送水 動力：自家発電
Madam	丘陵と斜面上	集落より1.3Km 離れた wadi bed	深井戸	井戸深 約150 m 約100m <sup>3</sup> の容量の調整タンク 動力：発電機 外径9 cmの鉛管で送水
Hajjah	山腹面	集落より約5 Km 標高差約600 m Fの wadi 沿い	浅井戸	井戸深 約2 m かなり大容量のタンク 水位確保のための砂防ダム 外径9 cmの鉛管 動力：電気 (Hajjah 火力発電所)

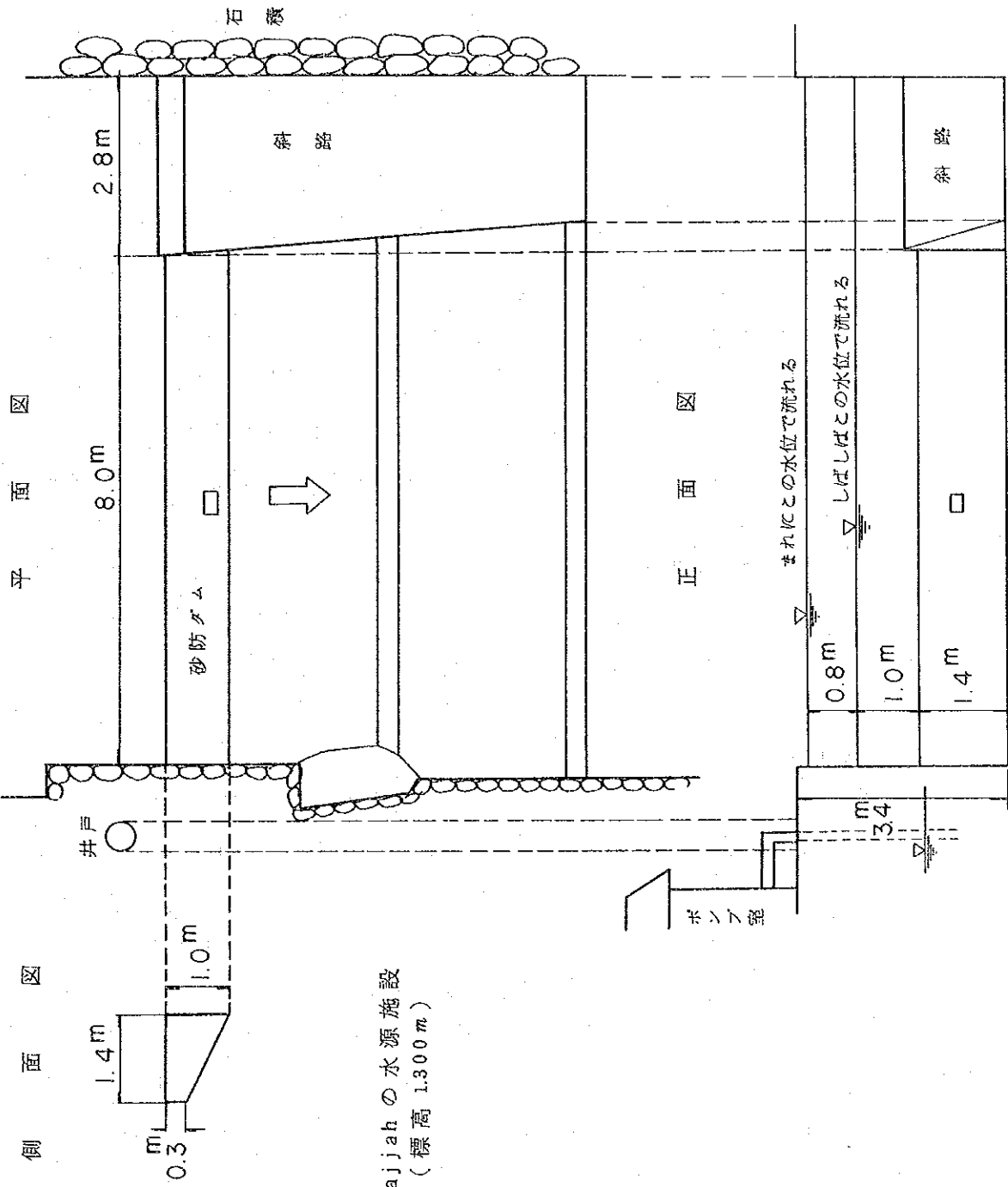


図 22 Hajjah の水源施設  
(標高 1.300 m)

取水地点の標高は 1,300 m で Hajjah 市の給水タンクの標高が約 1,850 m であるから約 550 m の高低差があり、給水タンクは市の中心から約 100 m 上にあり、ここから市内の各地へ配管され、蛇口をひねると水が出るようになっている。

図 2.2 の正面図に、洪水時の水位を 2 つ入れてあるが、このときの流量は、まれにおこる水深 1.8 m のとき  $77.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 、しばしば起る水深 1.0 m のとき  $32.1 \text{ m}^3/\text{s}$  程度と考えられる。

この取水堰（砂防ダム）の集水域は約  $16 \text{ Km}^2$  であり、平均的な流出率を用いて試算すると洪水到達時間内の最大平均雨量強度は水深 1.8 m のとき  $633 \text{ mm}/\text{h}$ 、水深 1.0 m のとき  $26 \text{ mm}/\text{h}$  となる。

取水地点から市への送水は 2 インチパイプを用い途中で 2 ~ 3 段にポンプ up している。

取水地点にあるポンプは、ドイツ製で  $Q: 36 \text{ m}^3/\text{h}$ 、揚程 325 m のものが 2 基あって、モーターで動かしている。

Hajjah 市内には、火力発電所があり、50 Hz、450 Kw、245 KVA のドイツ製のものが 2 基、予備としてソ連製 1 基があるが Space parts がないなど安定供給に苦心しているようで発電機を買いのための fund が欲しいと言っていた。

取水施設やポンプは州政府のもので住民は月 2 リアル払っているが、電気代・警備費（水源地には銃をもった青年が警備している）など 4 リアル  $/\text{m}^3$  かかり、月に 40,000 リアルの収入があるが赤字だとのことである。水使用原単位は人口が 15,000 人だとすると約 22  $\ell$  /人/日 程度で他の地域に比べると少なく家畜が 1,000 頭と少ないのは水の面からの規制を受けているのであろう。

水道の Maintenance 上問題なのは  $\text{CaCO}_3$  と砂が多く、パイプの閉塞がしばしば起ることであるが、取水地点からの送水パイプが内径 2 インチ程度と細いためコストが相当多いと考えられ、このような遠距離・高揚程・少量送水システムのパイプの口径、中間のポンピングステーションの位置・能力、貯水槽の設置、運転時間などを総合してどのようなシステムが最も効率的で Maintenance の面からも最適であるかを検討する必要がある。

この Hajjah 方式は、この国の高地部では非常に魅力的なものと考えられており、U.S. AID が Mahweet で 6 Km 離れた標高差 800 m 下の地点の泉から市へ送水しようという計画を調査中である。集水面積や帯水層の特性等を考えると、どのような形の水源をとるにしても、安定した水源は集落より低標高に求めざるを得ない。

この国の西斜面の高標高部では、谷はこう配が急で大きな転石等が多く、帯水層もあまり良好といえない。しかし標高が低くなるにつれて谷のこう配も緩やかとなり、帯水層も良くなり、集水面積も大きくなるために、表流水や浅層地下水の安定した水源を得る可能性は高まってくる。一方、すでに述べたごとく、この国の西斜面の高標高部では集落は尾根に分布するから、標高が下った安定水源など集落までの送水に要する設備や維持管理費がかさみ、