

## 第5章 バチナコースト地区の水利用

### 5-1 概 要

バチナコースト地区は、標高 3,000 m 級の山岳地帯から流下する多数のワジが存在するため、乾燥地帯に属するオマーン国としては、水利に恵まれた地方であると云える。オマーン国の水利用を見ると、かんがい用水が 100% 近くを占めるため、利用可能な水資源の分布と水量は、耕地の分布に端的に現われている。

オマーン国の耕地面積は 4.4 万 ha であり、その 2/3 はオマーン湾沿いに連なる Western Hajar から Jabal Akhdar に続く山脈沿いに分布するが、バチナコーストはこの山脈の北東側の流域に位置し国全体の約 1/3 の耕地がある。これらの耕地をうるおす水源はすべて地下水であって Faraji と呼ばれる湧水ないしは地下に設けられた集水施設及び井戸によってかんがいされている。井戸の数は 1 万を越えると云われており、年間の総利用水量は 3 億  $m^3$  を越えている。このうち農業以外の年間利用水量は 0.01 億  $m^3$  程度にすぎない。

バチナコースト地区の海岸に沿って帯状に伸びる巾約 5 km の海岸平野の部分は、土壌がレキ質でなく農耕に適することから、近年ボアホール技術の発達に伴って耕地が増加する傾向がある。井戸の大部分はこの地域に集中するため、地下水に海水が混入する塩水化の傾向が一部に認められる。したがって、本地方の地下水の水収支は既に需要が補給を上まわっていることを端的に示し、その面での対策が必要となっている。

新規に水源を生み出す方法については、既に種々の検討が行われている。その基本的考え方は、洪水時に海へ流出する表流水を何らかの手段により補促し、貯留しようとするもので、地下貯留を前提としている点で共通性がある。現在、2ヶ所のワジにおいて、調査設計が行われている。着工例はまだない。

かんがい方式についても、水資源の有効利用の観点から改良の余地がある。送水路の多くは開水路であり、かん水の方法も畑を畦はんで囲んで数日に 1 回水を湛水し、浸透させる方式であるから、水路や畑からの蒸発量が多く、浸透によるロスもあると考えられる。また、水質に問題のある地域では leachate と称する土壤に残留する塩分を除去するに要する用水も必要となっているなど、かんがい用水の 1/2 程度はロスとなっている。

今後、山村から平地部への人口移動と、海岸平野における耕地の拡大、農業の省力化、生活水準の向上などにより、平野部における水需要はますます増加する傾向にあり、これらの諸問題の解決が望まれている。

### 5-2 地下水取水施設の種類

バチナコースト地方の地下水利用は、取水形態の差異により 2 種類に区分できる。

第1は古来からのファラジ(Falaj)であり、第2は井戸である。ファラジと井戸の差異として、井戸が人力、動物、動力などの力による“揚水”という作業を必要とするのに対し、ファラジは湧水ないしは地下水を自然流下方式によって耕地に導くので、揚水を必要としないことが挙げられよう。

分布地域にも特徴が認められる。ファラジは山間の谷地や山麓扇状地の比較的標高の高い処にあり、海岸沿いの低地には存在しない。井戸は、山間部及び山麓部にも分布するものの、大部分は海岸沿いの低地に分布する。

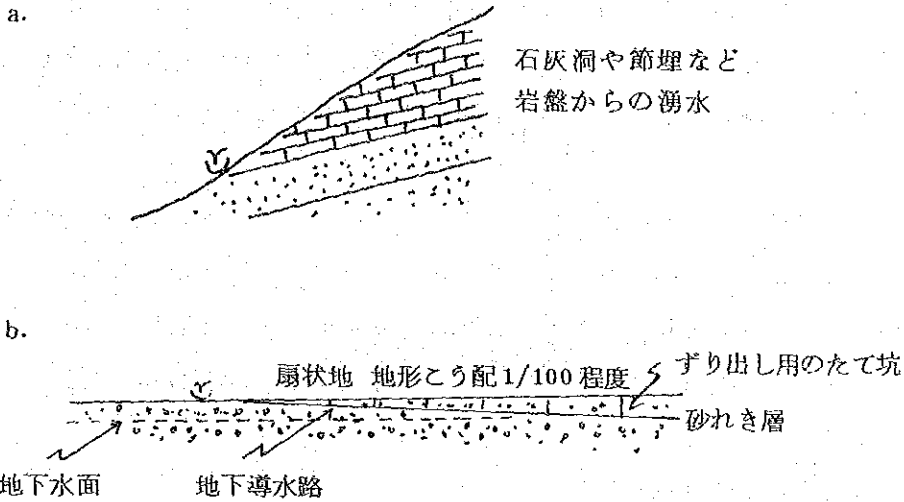
ファラジの用語は、地上及び地下の水路すべてを意味するらしく、自然的、人工的たるを問わない。調査団が現地を観察したファラジは、水理地質学的に図5.2-1に示す3種に区分できる。

aは、石灰洞やオフィオライトの節理など、沖積層の下位にあり山岳を形成する岩石中の湧水である。このタイプの湧水は、農耕適地内に存在することは少ないため、通常は段丘や扇状地に開かれた耕地まで水路により導水している。今回観察できた最大の湧水はWadi Farの上流部50Km地点にあるRustaqの町外れのものである。この湧水は石灰岩らしい石中にできたタテ穴から湧出するもので、水温が45°C、電気伝導度(以後はEC値と略記する)は約3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であって(リード氏による)温泉というべきものである。澄んでおり、塩味はせず、水路により耕地へ導水されている。なお、この町には10ヶ所のファラジがあつて、合計408 $\ell/\text{s}$ の取水を行っている(GIBB, 1976)。

石灰岩からの湧水はWadi Ma'awilの山麓扇状地上部のNakhl及びWadiの上流部のWadi SahtanにあるAl Khadraという小さな村でも見られたが、後者はやはり温泉であつた。GIBBのレポート(vol. I, 1976)によると、バチナコースト地方の石灰岩からの湧水は水温が35~42°Cであつて、Caを多量に含むがClは少なくEC値は390~700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ である。また、オフィオライトからの湧水は水温が30°C以上であつて、Cl, Na, Kが多くアルカリ性でpHは11.2~11.9に達し、EC値も高く最高は3400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に達する。しかし、その水温、水質の故にかんがいに不適であるというような報告は全く行われていないようである。

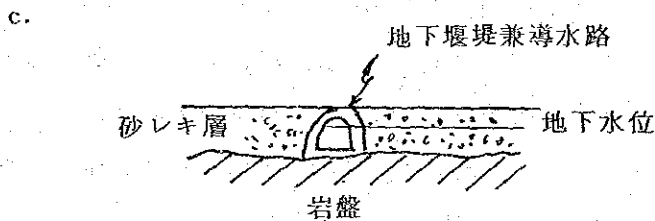
bは、山麓扇状地において多く見られるもので、地形、土壌等の面で農耕に適する場所から上流部に向つて、地形こう配より緩いこう配のトンネルを、地下水面に達するまで掘り進んでいき、そのトンネルを導水路に利用するものである。トンネルのずりは、約50mおきに設けられる縦穴から人力で地上へ引上げられる。縦穴の深さは最大20mに達するという。この工法は、縦穴の深さの制約から、地下水位が20m以深のところでは適用できない。山麓扇状地の平均地形こう配は0.01程度なので、地下水位が20mの地域では少なくとも延長2Kmのトンネルが必要となり、ズリ出し用の縦穴は40箇所を要する計算となる。調査団が観察したWadiの上流にあるKhazam村のファラジは、トンネルの延長が2.5Kmに達

図 5.2-1 ファラジの種類



地下水を、地下導水路により地表に導く

カナート ( qanat ) の一種



暗きよや用水路によって地表に導水する。

し、このほり大な農業水利施設が、わずか10戸程度の農家で使用されている。トンネルや縦穴は段丘砂礫層中にあり、縦穴の直径は入口は1 m位であるが深くなる程わずかに広がって2 m位になる。壁は玉石で押えてある。縦穴の中をのぞくと水蒸気がさかんに昇ってきて顔が暑い位であり、穴の数が多いため蒸発量は無視できないと思われる。

dは山岳地帯を刻むせまいWadiに作られた地下水の取水施設で、地下頭首工というべきものである。これは、沖積層の巾がせまく、地下水が伏流水となって河床砂礫層中を流れているような、条件の良い処にあるもので、これとbタイプの併用型も存在しよう。調査団が観察したものは、バチナコースト地方を西へ少し離れ、山脈の西側にあるNizwaの町

を支える水源であり、流路を横切るコンクリート製の地下堰堤の内部が水路となっており、流入する伏流水を開水路で耕地へ導いている。概算取水量は  $6,600\text{m}^3/\text{日}$  であった。

山麓扇状地から山岳地域にかけての砂礫と岩ばかりの茶色の世界に突然開けるデーツ林の緑がファラジの価値を端的に表現しているが、そこには必ずファラジを守る古いとりでがあって、ファラジ開発の苦勞と歴史を物語っている。ファラジそのものは絶えず補修が行われ、コンクリート製の構造物も見られるが、その開発の歴史は古く2000年前に遡るといふ。

井戸は、大別して日本でいう掘抜き井戸とボーリングによる深井戸に区分される。前者は、ファラジよりは新しいものの古来から存在する井戸で、昔は動物や人力によって揚水されていたが、近年はジーゼルエンジン付のヒューガルポンプで揚水している。

深井戸は、ボーリング技術と水中モーターポンプの導入に伴い10年位前から掘られるようになったものである。

掘抜き井戸は海岸地域に無数に見られるほか、ファラジの近辺にも認められる。

深井戸は費用の点で個人で持つことは無理であり、大規模な農地のかんがい用あるいは水道用として、扇状地下部から海岸沿いの地域に分布する。

### 5.3 かんがいの実態

#### (耕地の分布と面積)

オマーン国全体の農業概要を表5.3-1に示す。この表では、オマーン国の農地を6地域に分けて耕地面積、農家数、作物別面積等の集計が行われている(図5.3-1)。バチナコースト地方は、このうち、ノースバチナ及びサウスバチナ地域を合わせたもので、耕地面積の合計は15,078ha、全国におけるシェアは34%となっている。ダビラはWestern Hajar 山脈の西南側に位置し、この山脈の北東側のノースバチナと隣接している。オマーンインテリヤはJabal Akhdar山脈の南西側に位置し、この山脈の北東側のサウスバチナと隣接しており、いずれも分水界が地区界となっている。シャルキヤはEastern Hajar 山脈の山麓にあってサウスバチナ及びオマーンインテリヤの東部に隣接する。これら5地域の耕地面積は40,782haで、全体の93%を占める。ドハールはこれら5地域とは離れたオマーン国南部の山岳地帯に位置する。

このように、オマーン国の耕地はすべて山岳地帯周辺に位置するが、その理由は降雨分布が山岳地帯に集中していることによる。

サウスバチナは首都圏にも近く、最も恵まれた農業地帯である。この地域の耕地分布と作物別耕地面積を図5.3-2及び表5.3-2に示す。バチナコースト地域の耕地は、これらの図表からわかるように、海岸に沿った巾約5Kmの平野に集中するほか、山間谷地及び山麓

図 5.3-1 オマーン国の農業地帯

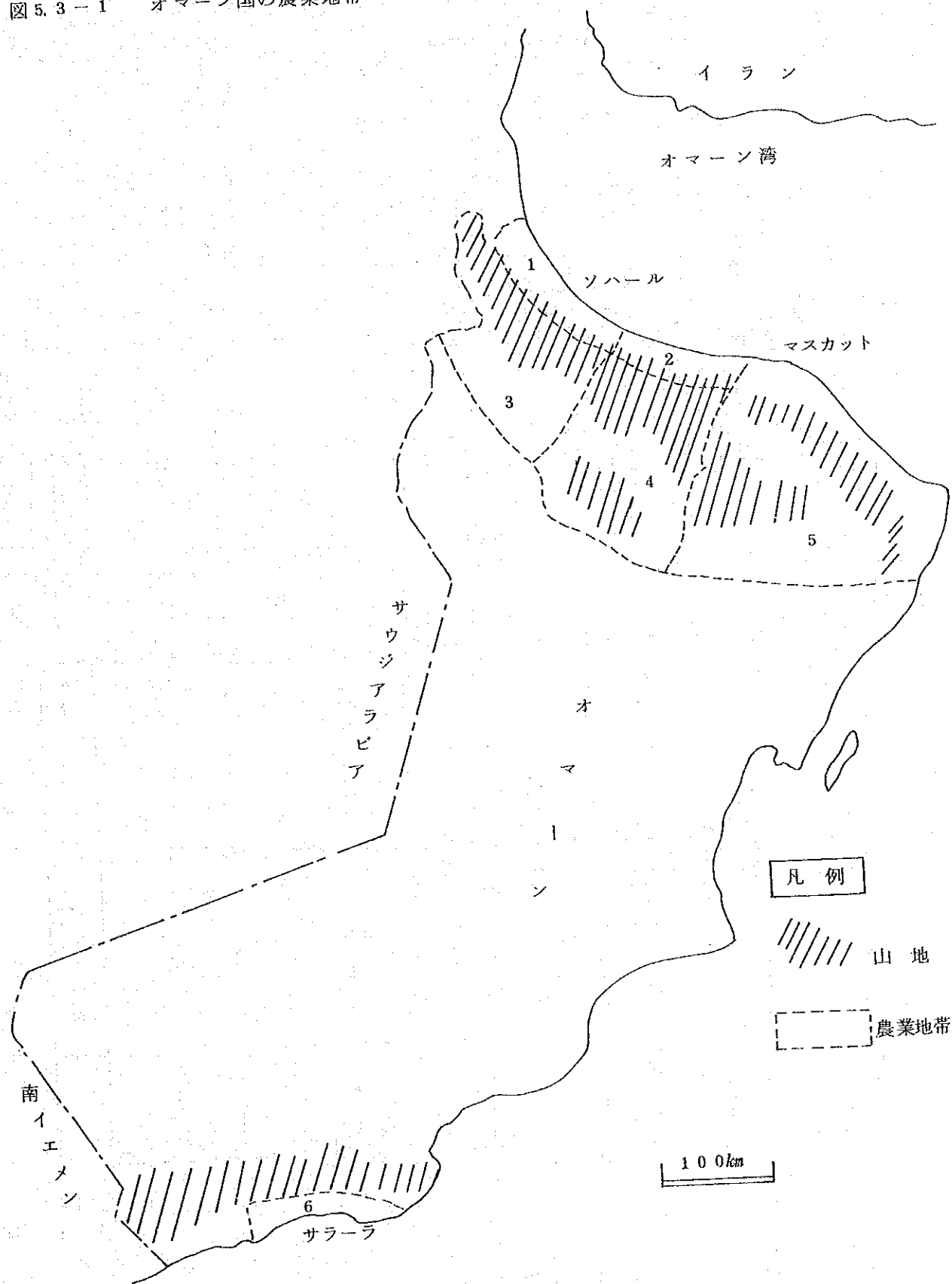


表 5.3-1 地域別，作物及び作付面積

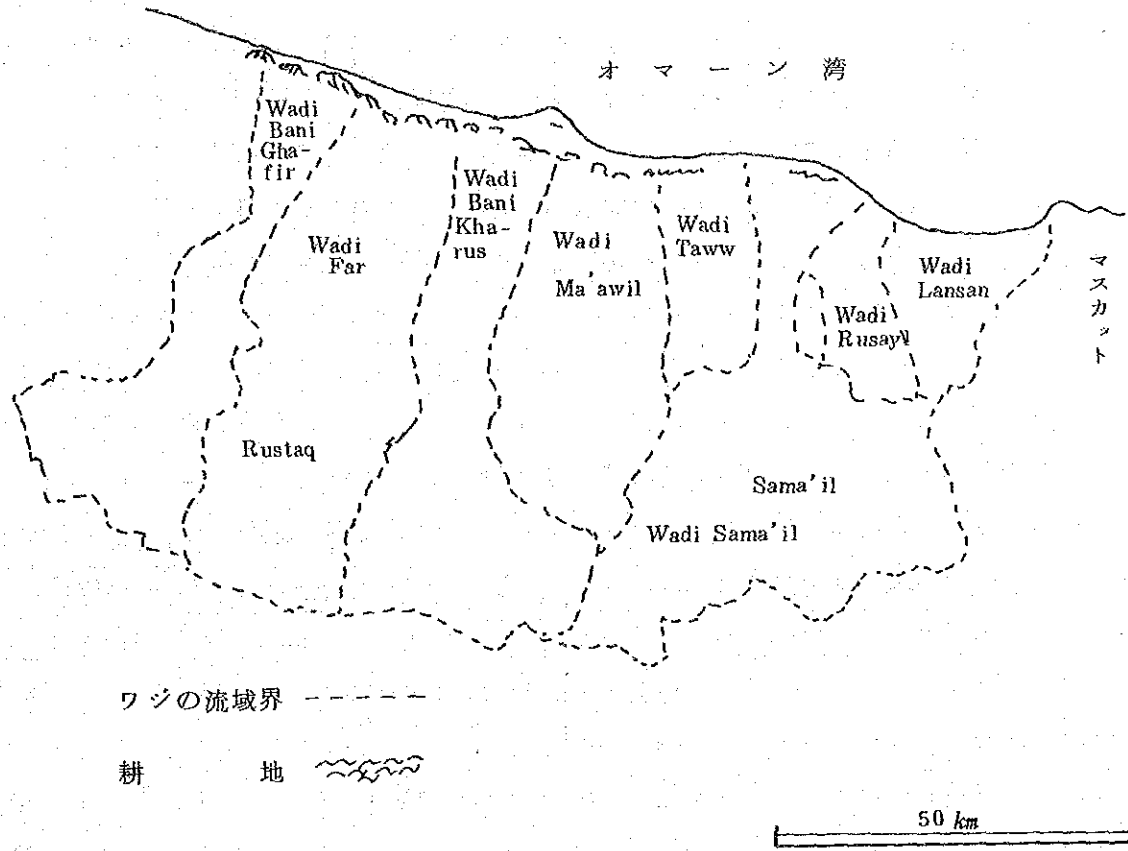
(注) 戸当面積はレポートの数をそのまま記載した。

地域	地方局の都	耕地面積	同左 シェア	作物別面積 (ha)				農家戸数	戸当面積	作物名 (主要)
				果物類	野菜類	野外植物	牧草類			
1	ノースパチナ	6,594	15%	4,914	672	294	714	13,000	0.59	デーツ, ライム, マンゴ, クワーバ, 大根, トマト, メロン, 玉ネギ タバコ, アルファアルファ
2	サウスパチナ	8,484	19	5,166	2,184	630	504	10,991	0.84	デーツ, ライム, マンゴ バナナ 大根, トマト, メロン, 玉ネギ ゴーズ, アルファアルファ
3	ダヒラ	8,190	19	5,166	882	924	1,218	5,865	1.39	デーツ, ライム, 大根, トマト, ニンニク, 玉ネ ギ, 小麦, ソルガン アルファアルファ
4	オマーン インテリヤ	6,468	15	4,788	630	126	924	9,772	0.59	デーツ, ライム, マンゴ バナナ, バルス, コリアンデー 大根, トマト, ニンニク, 玉ネ ギ, 小麦, エンドウ, アルファ アルファ
5	ジャルキヤ	11,046	25	5,712	588	2,814	1,932	?	0.84	デーツ, ライム, マンゴ バナナ 大根, トマト, メロン, 玉ネギ ニンニク, アルファアルファ
6	ドハール	3,024	7	966	378	336	1,344	?	?	ココナツ, パパイヤ, バナナ クワーバ, トマト, ナス, 玉ネギ トウモロコシ, アルファアルファ
合計		43,806	100	26,712	5,334	5,124	6,636			

オマーン国農業開発事前調査報告書 国際協力事業団(1980)を引用引

扇状地に散在する。この傾向はノースパチナにおいても同様である。

図 5.3-2 サウスパチナ地方の耕地分布



Water Resourced survey of Northern Oman Final Report

Sir Alexander Gibb and Portners Consulting England (1976) を引用

表 5.3-2 サウスバチナ地方の作付面積 (1974年)

単位: ha

作物	海岸平野地域	山間山麓地域	合計
デーツ	4,800	2,367	7,167
小麦		121	121
アルファルファ	750	317	1,067
野菜類	60	127	187
果樹	200	—	200
合計	5,810	2,932	8,742

Gibb (1976) Final Report vol.1 による

表 5.3-3 サウスバチナ地方の耕地面積と作物消費水量

流域	耕地面積 (ha)					作物消費水量 (百万m <sup>3</sup> /年)				
	山間・山麓地域		海岸平野		合計	山麓・山麓地域		海岸平野		合計
	デーツ	その他	デーツ	その他		デーツ	その他	デーツ	その他	
Wadi Lansab	73	—	113	4	190	1.1	—	1.3	—	2.4
Wadi Rusayl	73	—	143	13	179	0.3	—	1.8	0.2	2.3
Wadi Samail	787	144	674	95	1,706	12.3	1.4	7.6	1.2	22.5
Wadi Taww	59	4	284	146	493	0.9	—	2.4	1.9	5.2
Wadi Ma'awil	408	92	1,360	153	2,013	6.4	0.9	12.1	2.0	21.4
Wadi Banikharus	303	187	776	58	1,314	4.7	1.7	8.2	0.8	15.4
Wadi Farr	620	118	1,401	106	2,245	9.7	1.2	7.2	1.4	21.5
Wadi Bani Ghafir	247	48	1,343	166	1,809	3.9	0.5	11.2	2.1	17.7
合計	2,520	583	6,094	741	9,738	39.3	5.7	53.8	9.6	108.4

Gibb (1976) Final Report vol.1 による。

(山間, 山麓部のかんがい)

山間, 山麓部の耕地はバチナコースト地方の全耕地の 22 %程度で, 比較的サウスバチナ地方に限定すると 34 %程度と比重がやや高く, これらの耕地の大部分は Faragi により, 残りは井戸によってかんがいが行われているがその量はわずかである。最も井戸の多い Wadifar の上流部の Rutag においても, 375 ha のデーツ畑で使用されている 443 l/s の用水の 92% に相当する 408 l/s が 10ヶ所の Faragi から取水され



ており、残りの8%に相当する35ℓ/sが42ヶ所のポンプ付井戸及び、小数の動物を使用して揚水する井戸によって取水されている。多年生植物であり、かつどの地方においても作付面積の大部分を占めるデーツ(なつめやし、オマーン人の主食となる)の作付面積はFarajiの湧水流量に依存することは明らかである。しかし、デーツの消費水量によりFarajiの湧水流量の方が多いのが普通であり、その比は場所によって異なる。例えば、Wadi Far流域における実測結果は、全体として湧水流量は消費流量の約5割増しとなっているが、部落によっては2倍以上となっている。(表5.3-4)

オマーン国では、作物の成育に必要な水以外に、作物の蒸発散作用に伴って根のまわりの土壤中に濃集する塩分を洗滌するための用水が必要であり、その水量は地下水に含まれる塩分量により、作物消費水量の30~200%の間で変化するという。塩分洗滌用水の大部分は地下に浸透するため、下流部のFarajiや井戸で反復して利用される可能性がある。そのため、反復利用の多いワジでは下流部に移行するほど塩分の濃度が増加することになる。Wadi Samail流域のSamail村付近では、谷巾がせまく、伏流水を補足しやすいためその傾向がEC値に明瞭に現われており、600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の伏流れが約2Km下流で1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、5Km下流では1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ まで漸増する。

表 5.3-4 Wadi Far 流域の農業概要

部落名	耕地面積 (ha)			取水量 (ℓ/s)		作物消費水量 (ℓ/s)
	デーツ	その他	計	湧水(不季節)	沖積層起源	
Fashah-Awq地域	19.6		19.6			9.7
Dahaz	6.7		6.7			3.3
Rustaq	374.6	70.2	444.8	98.0	306~825	213.6
Tabaqah	16.9		16.9	2.9~5.6		8.3
Mazahit	13.5	8.9	12.2		13.5	10.2
Wishal	52.7	12.6	65.3		45.9	31.9
Miztar	9.8	3.9	13.7		16.3	6.4
Shubaykah	18.9	2.6	21.5		26.0	10.3
Hazanr	33.9	5.9	39.8		24~97	15.3
An Wustah D Daris	24.7	5.2	29.9			14.4
Jammah	41.1	7.1	48.2		51~58	23.3
Mansur	7.2	1.9	9.1		2.3~7.0	4.3

Glibb report vol.1 (1976) による。

かんがい施設及びかんがい方式は、山間、山麓部においては古来からの形式が保たれている。水源施設は前項で述べたように、Faraji 及び小規模な井戸であり、Faraji は、湧水地点から圃場に到る水路を伴うのが常である。それは、取水量の割には長大なものが多く、地下トンネルの例は前述の通りであるが、石灰岩からの湧水を送水する用水路においても同様である。例えば、調査団の観察したある小規模な耕地では、谷の中腹に作られた延長 2.5 Km の用水路をわずか 2 戸の農家が維持していた。そのため用水路からの蒸発量もかなり多いと推定される。水路がワジを渡る場合はサイフォンによっている。これは、年に 1、2 度発生する洪水に備えてのものであろう。ごく小規模な谷を渡る場合は石積の水路橋が使用されている。

用水の配分はファラージマネージャーが行う。ファラージマネージャーは部落の最高の権力者であって、村長、裁判官をもかかっているとのことである。導水方法は、日本の水田と同様の方式で、basin irrigation と呼ばれている。デーツは 1 本ごとに泥で作られた高さ 20 cm 位の畦はんで囲まれており、用水を順んに引込んでいく。通常冬季で 7 ~ 10 日おき、夏季で 3 ~ 4 日おきに 100 mm 程度導水する。家族数や耕地面積に応じて水路の使用時間が進められているが、圃場の面積に比し、流量が少ないため、時間中はつききりで管理をしなければならず、多大の労力を要する。やさいなどの畑作物もこれと同様のかんがい方式をとっており、うねまかんがいに相当する。かんばつの激しい年は、永年作物であるデーツやライムを維持するのがやつとで、やさいまで水がまわらない村がでてくる。

パチナコースト地方における山間、山麓部の年間消費水量は 76 百万  $m^3$  で、海岸部を含めた全消費水量 335 百万  $m^3$  の 22.6 % に相当する。この量は、耕地 1 ha 当たりの消費水量を毎秒 0.6  $l$  と仮定して計算されたものである。(表 5.3 - 5)

表 5.3 - 5 パチナ・コースト地方の水利用

単位：百万  $m^3$ /年

	耕地面積 (ha)	作物 消費水量	かんがい 必要水量	農業外 使用水量
山間・山麓部	4,101	76	142	
海岸平野	14,733	279	510	
合計	18,834	355	652	約 1

PWA (1979) による。

(海岸平野部のかんがい)

海岸平野沿いの耕地は面積的にはパチナコーストの全耕地の 78 % を占める。首都圏に近いサウスパチナでは 66 % とやや比率が下がるものの、パチナコースト地域の全耕地の

が巾約2Kmの帯状の地域に分布している。このベルト地帯の耕地率は50%に達し、モザイク状に分布するが、大きなワジの河口付近にやや集中する傾向がある。地形は平坦で土壌もレキ質でなくカルシウムに富むシルトが多く農耕に適する。しかし、海岸の直近部では塩分の集積した土壌帯が発達し、それを砂丘が覆う。

水源のすべては井戸に依存している。井戸の数は約10,000眼で、サウスバチナのみでも2,700眼に達する。その大部分は小規模な浅井戸であって、ディーゼルエンジンを備えたビューガルポンプにより揚水されている。1井当たりの揚水量は4~12ℓ/秒程度で場所によってかなり異なる。

作目はやはりデーツを主とするが、牧草のほか高級やさい、果実、など山間・山麓部で見られないような専用圃場も多い。デーツ畑では、デーツのみの圃場のほか、デーツの樹間を利用してやさい類を植えられた圃場もある。海岸近くやワジから離れた地域ではデーツのみの疎林が多く、ワジ沿いの地域や陸寄りの地域ではデーツと1年生作物の混合型ないしはデーツ以外の作物専用圃場が多い。この差異は地下水の水質によって生じている。海岸近くやワジの洪水敷から離れた所の井戸では能力の大きなポンプで揚水すると、地下水の電気伝導度が増すため、濃密な農業は不可能である。海岸から離れた水質の良い処ではバナナ、メロン、種々の高級やさいなど首都圏向けの作物が増加しつつある。これらの農業は個人規模で行われており、かんがい方式も山間、山麓部と同様に古来からの basin irrigation によっている。一方、水中ポンプを備えた深井戸利用による大規模な農地が内陸寄りの海岸平野部において増加しつつある。調査団が見学したソハールの国営農場では、350頭の乳牛を飼育するために、400haの牧草が植えられており、22眼の深井戸によってかんがいが行われている。かんがい方式も従来の方法とは全く異なり、1基で50haのかんがいが可能な全自動自走式の散水機（アメリカ製）が8基使用されている。

バチナコースト地方における海岸平野部の年間消費水量は279百万m<sup>3</sup>で、同地方全体の77.4%を占める。

山間、山麓地方における水利用上の問題点はかんばつ時の取水量の減少であったが、海岸平野部においては地下水位が高く揚水そのものは量 可能である。しかし、地下水補給量以上の揚水が行われると海水が浸入してくる。水収支の試算結果では地下水利用量279百万m<sup>3</sup>に対し、直接の降雨と上流部からの地下水補給を含めた総補給量は240百万m<sup>3</sup>しかなく、既に水収支はトータルでは、赤字となっている。(W.R.C 1979)。このことは既設井を利用した地下水のEC値測定結果から裏付けられている。バチナコーストの海岸線は凹凸のない単純な弧状を画くがEC値の等値線は複雑な形状をしており、GIBB(1976)のレポートによると10,000μS/cmという高濃度の井戸が認められている。それはとりわけサウスバチナ海岸付近で著しく、Wadi Bani Khaius 流域では10,000μS/cmの等値

線が海岸線から Km程度内陸に入り込んでいる。Wadi Sama'il 流域でも局部的にはあるが  $10,000 \mu\text{S}/\text{cm}$  の等値線が認められる。ノースバチナにおいてはまだサウスバチナにおける程深刻ではない。調査団が訪れたソハールにある農林漁業者の出先機関で観測を行っている 93 ケ所に及ぶ井戸の測定データを見せて貰ったところ、 $5,000 \mu\text{S}/\text{cm}$  を越える井戸は 4 ケ所であった。これらの事実は、地域により程度の差はあるものの、海水が次第に淡水におきかわっていきつつあることを示すもので、地下水利用の収支が赤字となっていることを意味する。その原因がポンプの導入にあることは疑問の余地がない。この 10 ~ 15 年間に急増したヒューガルポンプに加えて、近年の水中モータポンプの導入により塩水と淡水の境界線が新しい均衡を求めて上陸してきていると考えられる。農林漁業者もこの点には関心が強く、海岸平野部全域にわたる 205 ケ所の井戸を選んで地下水位と EC 値の測定を 1 ケ月に 1 回の割で実施している。また、一部の地域では井戸の新設を行う場合に水資源かんがい局の許可が必要となっている。

#### 5.4 問題点と対策

バチナコースト地方における利水の立場からの問題点は、既にふれてきたように、地下水利用量が既に地下水補給量を上まわっていて、井戸の増設が海岸部の地下水の水質悪化に結びつき、既耕地の荒廃を招いていることにある。既に海岸に近いデーツ畑の一部は放棄されている。一方、海岸平野部は土壌・地形などの条件がよいこと、首都圏に近く交通が便利なこと等の理由で水需要が増加する傾向にある。生活用水も、生活水準の向上と共に大巾に増加すると考えられる。(現在は人口 1 人当たり  $15 \text{ l}/\text{日}$  程度とのこと)。

これらの問題意識は既にオマーン当局者が指摘しており、これまでもふれてきたように種々の対策が講じられてきている。

地下水位及び EC 値の測定は、バチナコーストの海岸平野を対象として、205 ケ所の既設の浅井戸を利用して月 1 回の観測が行われている。淡水と下位に存在する海水との境界面の観測も 2 ケ所の深井戸について実施されている。なお、この観測は 1 度のみで継続的には行われていない。

第 2 の対策としてかんがい効率の向上を挙げることができよう。作物の消費水量以外に現在失われている用水としてまず土壌の塩分洗滌用水 (leachate) があるが、この水の大部分は、おそらく地下に浸透するので地下水の純減とはならないと思われる。かんがい効率の向上のために最も期待できると考えられるのは蒸発量の抑制である。オマーン国の水面蒸発量については多数の測定記録があつて、冬期で  $100 \text{ mm}/\text{月}$  前後、夏期で  $260 \sim 290 \text{ mm}$  に達する。したがって開水路や灌水中の畑面からの蒸発量は多い。開水路のパイプライン化やかんがい方式の改良によりかなりの量の用水の節約が可能と推定される。

最も積極的な対策として新規水源の開発が挙げられる。新規開発の対象となり得る水源として、年に2、3度の降雨時に海へ流去する洪水が着目されている。洪水量を測定する努力はこれまでずいぶんなされてきているものの、成功例はない。しかし、降雨強度が大きく、短時間に大量の洪水が流去することから降雨量の $\frac{1}{3}$ 程度は無駄に流れていると推定されている。

洪水の貯留法として、通常の地上ダムは適切でない。その理由として、蒸発量が大きいこと、下流の地下水位を低下させずにすむようなダムサイトは得難いこと、現在各ワジの谷底に作られている道路が水没すること等が挙げられよう。

そのため、洪水を地下に貯留することを前提に3種類の手法を米国工兵隊が提案している。いずれも流路に適切な施設を設けて洪水を一時せき止め、地下への浸透を促進させようという発想である。

#### ① 洪水遅滞ダム (Detention dam)

これは、谷の狭さく部にダムを築造し、洪水のピーク流量を一時貯留し、洪水の終了後に地下浸透の可能な流量を下流に放流しようとするものである。この方法は、ダム容量が大きくなるために堤体の構造や余水吐の容量を慎重に決めなければならず、工事費も嵩むであろう。

#### ② 洪水拡散ダム (Dispersion dam)

これは、ふとんかごを使用して、堤高2~4m程度の低いが堤長の長いダムを扇状地の上部に設け、一定の流路を流れてくる洪水を多数の堤体の下位に設けた放流管から放流し、流路の中を広げることにより浸透量を増加させようというものである。

現在、Wadi Sama'ilにおいて米国のコンサルタントが設計を行っているのはこのタイプであって、堤長3,000mに及ぶ脈状の堤体を扇状地の上部に設置し、余水吐は堤体自身がかねる構造になっている。堤体材料は現地で得られる玉石、(フトンカゴによる法面保護用)、砂(フィルター)、シルト(コア)などであるが、フィルダムの上を越流させるといふ、日本では考えられないような構造になっていて、パイピングによるシルト、砂の流出、ダム敷にシルトが堆積することに伴う貯水容量の減少などが問題であるように見受けられた。

#### ③ 流域変更ダム (Diversion dam)

これは、一定流路を流れてくる洪水を一時貯留し、いくつかの水路により扇状地に導水して放流するものである。

これらを要約すると、洪水遅滞ダムは地盤浸透時間を延ばすことにより、洪水拡散ダム、流域変更ダムは、地下浸透面積を拡げることにより、無駄に海へ流去するであろう洪水を地下に浸透させようとするものである。

オマーン国農業開発事前調査団の報告書においても4種の工法が提案されているが、いずれも洪水の地下浸透量を増やそうとするものであって、発想はまったく同じである。

なお、我が国の宮古島で築造されているような地下貯留ダムの築造は、オマーン国においては有効な工法とは云い難い。我が国では、地下への浸透した水が、地下水流の形で海へ流去するのを阻止する目的で地下に止水壁を築造している。オマーン国では地下に浸透する水が少ないことから問題が生じており、洪水の有効利用を図るための工法を、まず採用すべきである。海水が地下淡水域に浸入するのを防ぐ手法が考えられないこともないが沖積層は厚く、海岸線は長いので、費用が嵩みすぎるうえ、地下水の流去がほとんどない現状から、水資源の絶対量の増加は望めない。山間の盆地に地下上水壁を設ける手法も、それより上流域においては地下水利用可能量が増えるが、下流域ではその分だけ減少し、社会問題となろう。

現在、オマーン国水資源審議会においても全国的な水資源開発計画が樹てられており、1981年から5ヶ年計画がスタートした。国内を11地域に分け、水文観測と地下水開発が行われようとしているが、地下水開発の対象として石灰岩中の地下水が主眼目となっている。バチナコーストにおいては、1982年度にソハール地区の試掘計画があり、39万リアル(2.34億円)の予算が計上されている。海岸部を中心とし、適当な目的があれば山麓部も対象地域に含めることになっているが、調査団が訪問した時点ではまだ具体的計画はたてられていなかった。

## 第6章 今後の調査の基本方針

パチナ地方においては、既に関係各章において述べられているとおり、近年の地下水揚水量増加により、地下水の塩水化が進行している。

地下水は、古来、人々の日常生活に不可欠のものとして、山間部における湧水の露頭、山麓部におけるファラジ及び海岸部においては浅い地下水までの手掘り井戸による等の方法によって、生活、灌漑等の用に供せられてきた。

いうまでもなく、地下水の利点は、地下水面が浅ければ簡易な施設で利用できること及び水量が比較的安定していること等にある。しかし、その反面、その流動速度は遅く、降水量の少ない乾燥地帯においては地下水の湧養速度もまた極めて少ないものである。それにもかかわらず、これらのことを充分認識した地下水の利用の秩序が確立されていないという点に、現在生じている諸々の問題の端緒がある。

現在、オマーン国においては、各省の所管の用途用水については、各省が独自に開発計画及び一部では保全のための施策を進めているところであるが、このような状況下においては、現在我々が進めつつある水資源開発のための基礎的調査のほか、併せて、全国土にわたって地下水利用を秩序づけ、地下水を保全しつつ、その適正利用を図るための地下水管理制度を確立させることが必要であると考えられる。

以下で、本プロジェクトの対象地区の考え方、プロジェクトの推進に関する基本的考え方及び、水文、水理地質、地下水等に係る今後の調査の基本方針に関して述べる。

### 6.1 プロジェクト対象地区

本プロジェクトの対象地区は、Scope of Work に記載された5つのワジ、すなわち Wadi Maawil, Bani Kharus, Far, Bani Ghafir 及び Ahin の各流域である。

本プロジェクトは、将来において、洪水流の地下浸透等により地下水の涵養量増加を図りつつ、地下水による水資源開発を検討するために、当面の措置として基礎データ整備のために水文観測及び各種調査を実施するものである。限られた予算を有効に活用するという観点から、この目的ゆえに将来の事業実施の可能性を考慮しつつ、5つのワジ各流域のうち、多少の重点を置いて調査を進めるべき流域及び特定の地区を選定する必要があるものと考えられる。一方、試験流域を設け、精度の高い調査を進め、これを全域に外挿することによって、対象地域全域のデータの精度を高めることが必要である。

重点的に調査を進めるべき流域を決定するための指標としては、例えば一例を示せば次のようなものがあり、これらの点をふまえて、基本計画調査 (basic study) においては、主に既存資料を活用しつつ、検討を進め、本格調査着手以前に重点流域を決定する必要がある。

① 人工涵養を行うに際しての涵養源となる地表無効流出量の多少

これについては、GIBB が推定値を出しており（4章4.1のうち表4.1-9参照）、有力な参考値となり得る。

このほか、平野部への洪水流出量の多少を支配する一つの指標となり得る地表水系の公布及び山間部の流域面積等を検討する必要がある。

② 地下水位の低下、塩水化の進行等の地下水障害から見た緊急性が、流域毎に差異のあるものか否か。また、今後、地下水揚水量の大幅増を必要とするような大規模開発が検討されている流域があるか否か。

③ 一方、試験流域の考え方からは、全域の水文状況を代表する流域であることのほか、下流～上流にかけて各種観測地点を配置し得、かつ、観測員が随時行けること等が必要である。

なお、現時点における限られた資料（主に前述の①）による判断を示せば、将来の事業化の可能性の優先度は、Wadi Bani Kharūs 及び W. Bani Ghafir が大きいものと考えられる。この者の中間の W. Far については、地下水理的に連続していても中間にあるという関係を重視する必要がある。一方、Wadi Ahin はこれとは独立して位置することから、同様に調査を行う必要があるものとする。

## 6.2 調査の基本方針

本プロジェクトの目的とするところは、①調査期間内において実施する各般の調査及び②調査期間を通じて設置する水文（地下水に係るものを含む）観測システムをオマーン国側に移管し、観測体制を定着させることによつて、さらに長期にわたる観測・調査を進めオマーン国側が実施する各種事業に資するための基礎データの蓄積を図ることにある。

これらのことについて、まず、①に先立って、②に関連して述べることにする。

従来のオマーン国における水文観測は、特定目的の調査に必要な箇所に必要な調査期間を実施してそのまま観測は中断しているというケースが多かった。今回のプロジェクトはこのような過去の水文観測のやり方に対する反省に立ち、系統的かつ長期的の観点から地道に水文観測を定着させようとするものである。したがって、調査期間中に観測方法、施設の維持管理、資料の整理解析方法等に関するすべての技術移転がなされることは必須の要件であろう。さらに、調査の終了に当っては調査終了後も引き続きオマーン政府によつて維持管理が継続可能となるような補修器材、消耗部品等々への配慮がなされるような実施予算およびスケジュールの配慮が必要であろう。

また、限られた人材、限られた予算で最も効率的な調査成果を得るためには、他省庁との協調あるいは情報交換等が必要となるかも知れない。今回の事前調査においては水資源庁とのみの接触でありしかも短い時間であったため得られた情報にも限度がある。また、



水資庁以外の各省については殆んど情報が得られておらず、基礎調査段階での再調査が望まれる。必要であれば、農漁業省を通じて、観測場所、スケジュール、データの交換等についての調整が必要となることもあり得る。

次に、前述の②に関しては、さらに6.3において詳しく述べるところであるが、その主要項目を列記すれば次のとおりである。

○地下水利用実態調査

揚水井戸の分布及び揚水量の地域的分布と経年変化（水収支の検討のために不可欠）。  
地下水の塩水化等の地下水障害の実態。

○地表水水文観測システムの設置及び水文観測の実施。

降水量及びその分布、蒸発散量の調査。

各ワジ山間部流域より平野への流出量及び海への無効流出量の把握。

○地形、水理地質調査

地下水理地質構造の把握。

帯水層の分布状況及び水理諸定数の把握。

地下水の賦存・流動状況及び水収支の概要の把握。

○地下水観測システムの設置及び観測の実施

地質調査において実施する地質ボーリングに関連して観測井を設置し、観測を継続実施する。

○治水及び環境影響に関する検討

今後、水資源開発施設計画を検討するに際しての、治水及び環境影響評価に関する基本的考え方の検討。

### 6.3 各事例別調査の今後の方針

ここでは、各事例別の調査について、今後実施する基本計画調査において、特に検討を要すべき点を中心として述べることにする。

なお、GIBB及びILACOの調査においては、以下の各事項について詳細な調査を実施しており、その調査結果を活用すべきことはもちろん、調査の手法についても学ぶべき点は多い。（特に、Main Reportの他、早くのAnnexも参照の要あり。）

#### 6-3-1 水利用実態調査

水収支検討のためには地下水揚水量の把握が不可欠である。このため、揚水井戸の分布及び揚水量の地域的分布、経年変化の把握が必要である。また、過剰揚水による水収支赤字の一つの指標としての地下水塩水化の調査は、利用水の水質面の管理にも充分役立つこととなる。

ととなる。

これらの調査の具体的方法としては、水量に関するものについては海岸地帯に無数に存在する既存井戸の把握及び揚水量の推定が重要となる。恐らく、各種の井戸について、ある程度のものについて実測又は聞き取り調査を行い、地域全域については統計的方法を用いることとなると考えられるが、これらの点について検討の必要がある。

水質に関しては、特に塩水化の進行状況の把握が重要な問題である。塩水化の面的な進行状況の把握については、既存井戸の塩素イオン濃度測定によることとなるが、塩水化は深度によっても当然異なることである（既設の井戸では、深度不明のものもあると思われる。）ので、これをいかに評価しつつ、面的な塩水化進行状況を把握すべきか検討する必要がある。定期的に調査するに際してのその期間については、かつてのGIBB、ILACOの調査時点から現在までの塩水化の進行程度、及び地下水面の変動状況等を考慮して決定するものとする。（観測井における塩水化進行の把握については、後述）塩水化把握のための間接的方法としては、地表電気探査があり、ILACOの調査においてはこれを活用している。

塩素イオン濃度以外の項目の水質に関しては、当該地域における水利用のうえで重視すべきものについて調査（水質化学分析）を実施するものとするがこの調査項目及び具体的方法について検討を行うものとする。

### 6.3.2 地表水、水文観測システムの設置及び水文観測の実施

#### (1) 水文観測ネットワーク整備の目標

従来、オマーン国においては、或る調査プロジェクトが実施されると、その都度観測所が設置されその調査の目的のみ観測が実施されるといった繰り返しの色彩が強いようである。水文資料は水資源の賦存量を把握するための最も基礎的かつ重要な情報であり、長期的な資料整備が必要である。

今回プロジェクトは、今後実施されるであろう当該地域の水資源開発事業に必要な基礎水文情報の観測収集をおこない、さらに、これを分析することにより水資源の収支を分析するものである。

さらに、これらの観測ネットワークは長期的観点から資料を収集すべく、ネットワークシステムのオマーン国への定着を目指すものである。

このような、2つの主要な目標に対して今後の対応方向について考察してみることにする。

#### (2) 水文観測ネットワークの考え方

水文観測ネットワークの終局目標はWater Balanceの分析を可能とするものである。

Water Balanceに関連する要因としては、降雨、浸透、蒸発、水利用、貯溜、流失等が考えられるが、すべての要因が直接観測され得るものでもなく他の要因のパラメータ等から間接的に測定される場合も多い。したがって、データの種類は必要最小限というより、いくつかの角度から検算が可能であれば一層検討の精度を向上させることが可能であると思われる。

以下、降雨観測、流量観測について考察してみることにする。

#### a. 降雨観測

降雨データは、土地利用等外的条件の変化に対しても安定であり、或る意味においては最も基礎的かつ信頼し得る情報であると言える。

降雨データは現在収集されているものは日単位のものであり、今後、降雨と流量の関係を考察して行くに当っては時間雨量データは不可欠であろう。この際当然のことながら普通雨量計の併設を考える。

どのような仕様の測器（検出部、記録部、動力）を設置するかについては、観測地点の自然的条件あるいは観測員の能力、員数等を総合的に考慮して選定する必要がある。現地観測員の意見は種々貴重な情報を与えてくれるものと思われる。

観測所の配置は通常50 Km程度に1ヶ所ということであるが、これは日本における一つの標準であり気候も地形も異なる地域においては管理能力、予算等をも考慮して設定する必要がある。

図6.3-1は雨量観測所数、流域面積、及び、標準相対誤差の関係を示したものである。これも我国における資料であるが配量ヶ所数決定の際の1つの参考となるかも知れない。

次に図6.3-2は当該プロジェクト地域における観測所標高と降雨量の関係を示したものであるが、この図から見ると山地部の比重の大きさをうかがい知ることができる。

#### b. 流量観測

流量観測は前述のとおり、Slope/area SurveyとCurrent meterによるものとの併用により、実施されており日本における浮子による観測は殆んどない。これは現地における設備の問題あるいは洪水の出方が早く、回数も少ないため観測要員の確保が困難なことによるものである。また、上流河道部は勾配も急でありアプローチも困難なため現地における高水時の観測は危険をともなうことが予想される。

水位観測については流水のエネルギーが大きく又砂利等の流出も多いため記録部を支えるケーシングの安定に留意する必要がある。また、ケーシング内の水位の外水位に対する応答は特別の配慮は必要ないとのことで砂利層を通してケーシング下部から

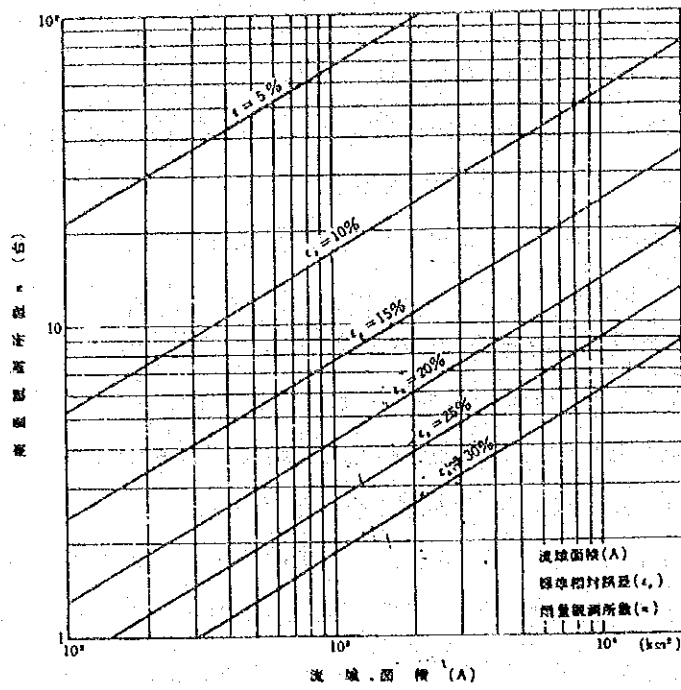


図 6・3-1 流量観測所数と観測誤差の関係

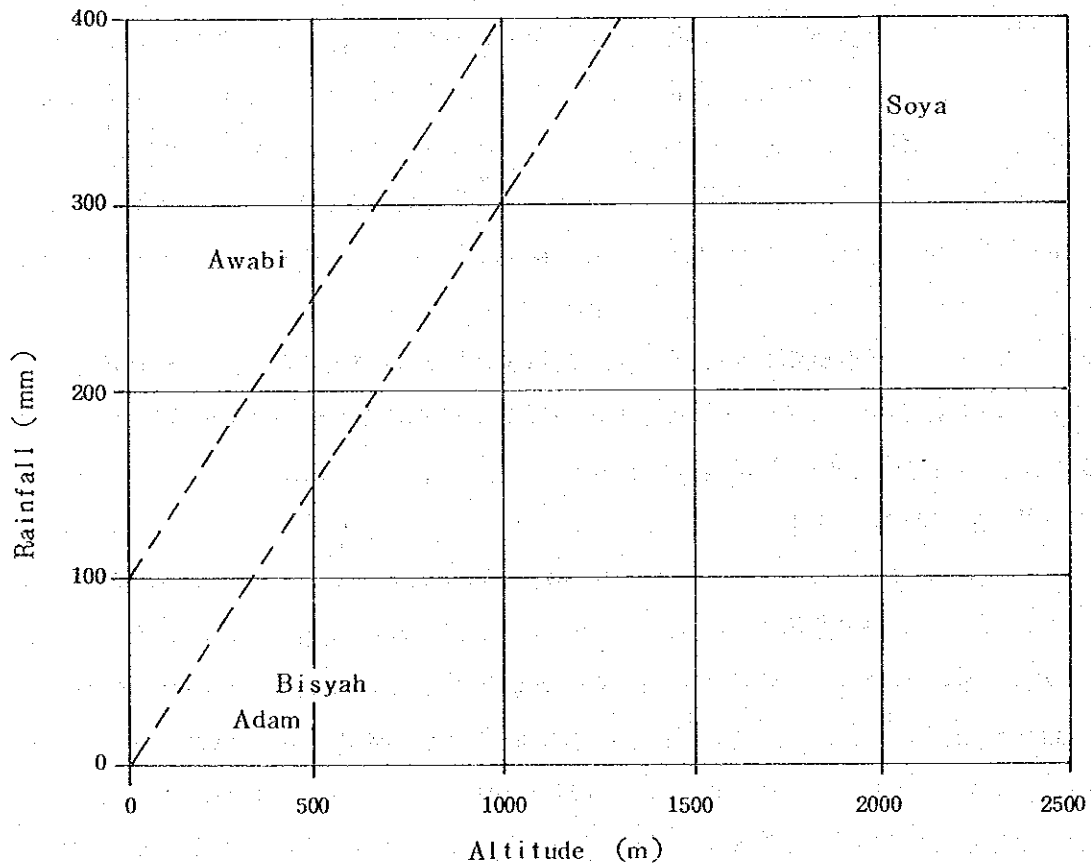


図 4-8 Variation of Rainfall with Altitude for January to October 1975

の水の浸入により充分対応可能である。

また、外水位と内水位との調整をおこなうための外水位 Staff が設置されておらず今後新設改良に際して留意しておく必要がある。

観測所の配置については、基本的には山間部から流出した洪水がどの程度地下へ浸透してどの程度海へ流出するかといった収支を把握することである。したがって、流量観測位置は山間部から沖積平野への出口および河口附近 (Coastal Road 沿い) で選定する必要がある。

山間部においては流出土砂が多い低くは河道は比較的明瞭に識別することが可能であるが、平原部から河口部にかけては河道は網目状に走っているため上流部のどの河道と河口部のどの河道が関連しているかを地形図あるいは現地踏査のみで識別するのは困難である。(図 6.3-3)

Gibb(1976)のレポートに1974年10月と1975年2月の2洪水について航空写真撮影の結果Wadi Systemが分析されており原画が入手できれば貴重な情報になるものと思われる。また、河口部においてはCoastal Roadの標高がWadi Channelの部分だけ低くなっており、道路の縦断図より大略の推定が可能と思われる。また、水位の観測もCoastal Road沿いであれば道路構造物により固定されており流下断面形状の変動も少ないものと判断される。次に、これらの観測所でどの程度の流域を包含するかについて、仮に全流域を包含させようとすれば、数多くの観測所を設置する必要があり観測の精度にも影響が及ぶことが予想されるため、主要な地点において精度に留意しつつ観測を実施し、包含し切れない流域部分については他の手段(雨と流出量数等)により間接的に補足するようなことも考えておく必要があろう。

流量観測の手段としては、前述のとおり、Slope/area SurveyとCurrent meterによる方法が採用されているが、Hydrographから判断すると必ずしもこれら2方法のみで充分であるとは言い切れない。したがって基本的にはこれら2方法について観測計画を考えることとするにしても、その他チエッタ・ダム、8ミリ撮影機の使用(夜間観測には不適であるが)、超音波流速計、電波流速計等の新しい方法の併用によりその精度向上等を追求する必要がある。

また、調査対象地域全体を同じ密度で調査を実施するかどうかという点についても考慮する必要がある。例えば各々の観測所の密度および観測頻度についても特定流域のみに重点をおきこれらの流域の解析の精度向上をはかることにより他流域の解析分析の指標とすることも可能であろうし、又、高精度、高密度観測の実施により新たな解析方法や観測方法の技術移転等の展望も開けてくる可能性もある。このような立場から見ると、雨量、流量のみならず、蒸発散等についても計器蒸発の直接的な蒸発

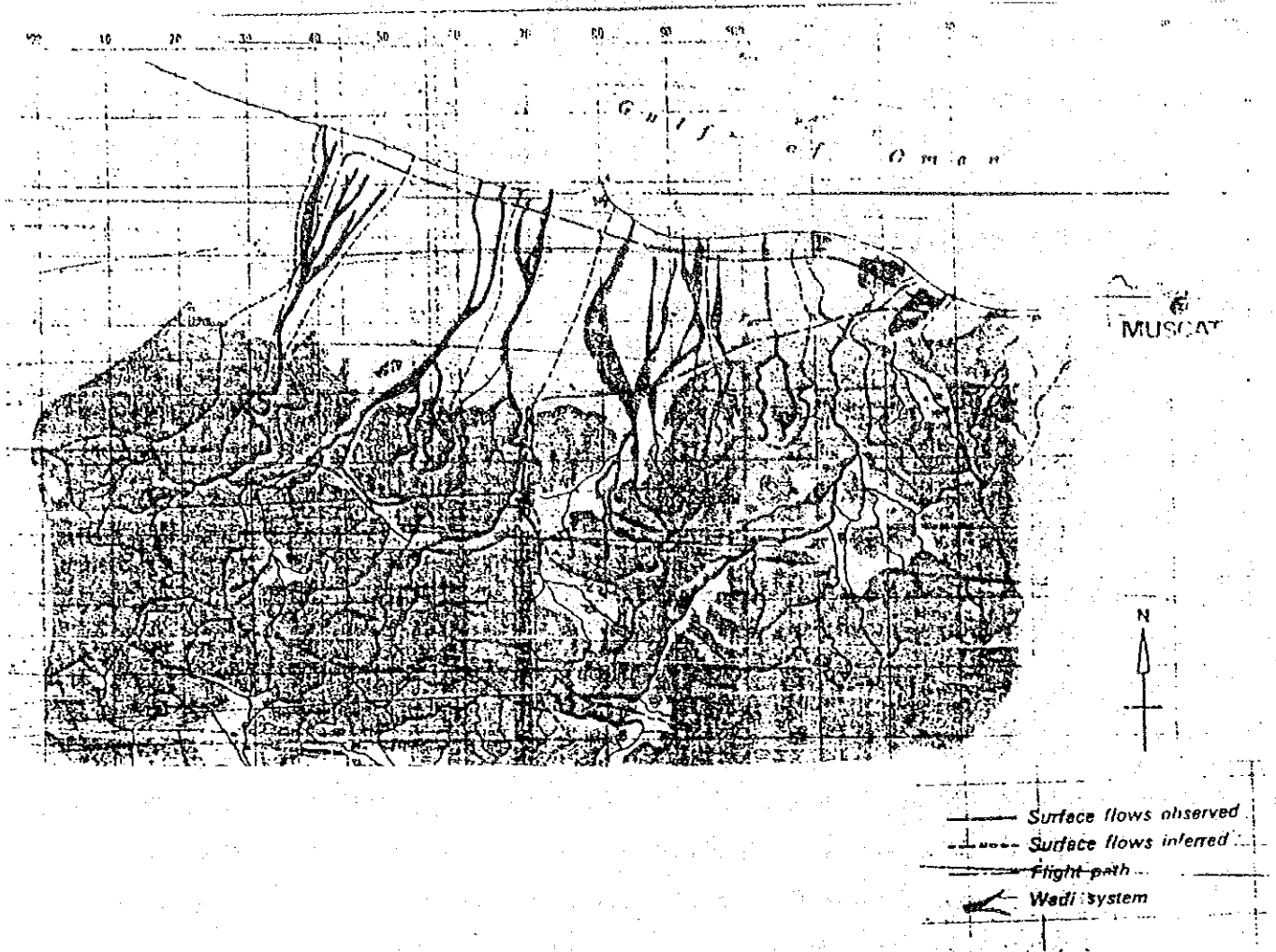


図4・9 表流水面とん跡図 (1974. 10)

散の測定実施についても考慮すべきであろう。また、Wadi Base Flow および, fall ageの流量計測についても解析分析方針にもとづき必要に応じて追加検討すべきものと思われる。

### 6.3.3 水理地質調査

本項のうち水理地質調査及び次項の地下水観測については、調査対象地区を、各ワジの山間部からの出口～海岸に限定すべきである。これは、将来の人工涵養事業化を考えた場合、①涵養域はワジの出口～扇頂部付近に限定せざるを得ないこと（地質、地下水面の位置及び事業費の多少による）及び、②現在の利用域は海岸部であることによる。従って、調査の密度等も涵養域及び利用域を重点に進めるものとする。

なお、地下水賦存域としては、ほかに山間盆地及び山間部を流れるワジの峡谷部があるが、これらの地区は極めて微妙な水バランスにあり、新規開発のための事業が住民の生活を破壊することとなる恐れが大きいことから、調査対象域から除外するのが適当である。

ここでの目的とするところは、①地形・水理地質構造の把握及び②地下水流動状況の把握である。①は、地質構造、帯水層の水理地質諸定数、地表浸透能の評価等が主要なテーマであり、地形調査は、写真判読を主とした。水系及び流域界の把握、植生の調査、面的な地表浸透能の把握等のための表層地質の調査に活用できるほか、表流水に係る水文観測ステーションの位置決定に際しても、空中写真の実体視が有力な手段となろう。②に関しては地下水面の把握、地下水流動量の評価、水収支の評価等がその主要なテーマとなる。以下で、各事項に関して、基本計画調査において留意すべき点を述べる。

Wadi Ahin を除く4ワジについてはGIBB(1976)の調査により、水理地質構造及び帯水層の水理地質定数についてその概要が把握されており、これについては第4章の4.1において述べられたところである(4.1中の各図・表参照)。地層地質についても1/50,000図が作成されている。今後、本プロジェクトにおいて実施すべき内容のうち、特に水理地質関係の分野は地質ボーリング等多大の経費を要するものであり、実施可能範囲も自から限定されることから、GIBBの調査結果に比べさらに地域全域にわたって精度の高いものとするのは困難と思われる。従って、調査に際しては基本的にはGIBBの調査結果を活用しつつ、これを検証しさらに今後の事業実施の可能性から考える重点調査地区の精査を進めるものとする。なお、W. Ahinについては、ILACOの調査においては、主に電気探査により地下地質構造を把握しているものの、先の4ワジに比べ貯留系数等の水理地質諸定数の把握が充分ではなく、この点の調査が必要である。

次に、各個別調査について述べる。なお、地下水位観測井の設置についは、地質ボーリングを伴うものであるため、ここで述べるものとする。(観測井の構造、機器等につ

ては、次項 6.3.4. で述べる。)

なお、基本計画調査の終了時点で、各種資料を水理地質図の形で総合的にとりまとめておくことが、今後の調査推進に際して有益なものとなる。

#### (1) 地質ボーリング

##### ○ 地質ボーリング並びに地下水位観測井の配置及び深度

限られた経費内での調査であるため、地下水位観測井設置(地質データが不可欠)に伴って実施するものとする。従ってその位置は、地下水流動の多いゾーンにおいて流動方向に従って山麓より海岸部へかけて配置するものとする。W.Ahinについては現在のワジ流域に沿って、一方これ以外の4ワジについては、GIBBの調査により、貯留係数の面的分布が把握されており(図4.1-26, 0.1~10%の分布があり)、これに基づいて貯留係数が極めて高いゾーンに配置することが妥当である。なお、これらゾーンの間接域についても予算の制約内において配置することが望ましい。

深度については、地下水位が上部礫層(4.1の記述参照)より深い扇状地上流半部については平均的地下水面以下10m程度とし、地下水位が次第に浅くなる下流半部~海岸においては地下水位以下10m程度とするが、農耕地については併せて塩水浸入を把握するため、塩水浸入の境界(1875~現在までの状況の比較検討による)付近までとする。観測井の数の配置の割合については、人工涵養の適地である扇頂部:地下水位の深い扇央部:扇端~海岸の地下水利用域について、2:1:2程度とする。

なお、地質ボーリングの位置・深度の考え方を図6.3-4に、また、これらを含めて観測井における観測内容を表6.3-1に示す。地下水面の位置及びその変動、上部礫層の下限深度、地下水塩水化の状況については、4.1における記述及び各図・表が参考となる。

##### ○ 地質ボーリングの方法

原則としてコアボーリングとし、コアの鑑定によって地質柱状図を作成すると共に必要に応じて地質(土質)試験資料を採取するものとする。ただし、膠結のまったくみられない浅層部礫層については、予算を考慮しつつ、コア採取を断念する。なお孔井さく井を目的とする主観測井についてはパーカッションボーリングとする。

##### ○ 各種検層

電気検層(比抵抗, 自然電位), 温度検層, キャリパー検層(孔壁の凹凸検知)等を実施する。

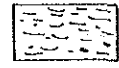
なお、海岸部の塩水浸入域については、その状況の監視のため、定期的に電気検層を実施するものとする。



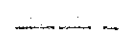
(凡例)



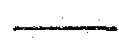
上部礫層



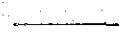
粘土質礫層及び膠結礫層



上2者の境界 (GIBBによる平面図に基づき作図した)



地下水面 ( " )



塩水境界 (ガイベン-ヘルツベルグ則により推定)

地形断面は 1/250,000 地形図による

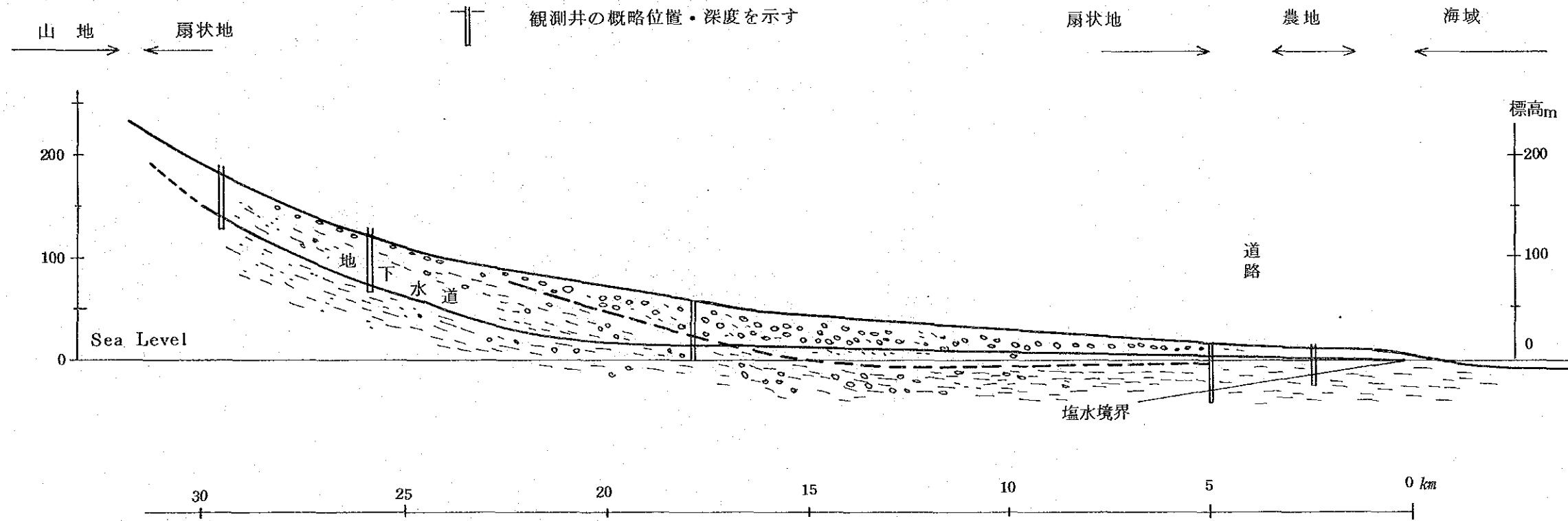


図 6.3-4 上流～下流の地質断面図及び観測井配置・深度の概念図



○ 揚水試験

別にさく井する主観測井（今後の地下水位観測用）及びボーリング井を補助観測井としての揚水試験を実施する。これによって貯留係数、透水量係数及び透水係数を求める。なお、主観測井と補助観測井の間隔については、水理定数を考慮しつつ（特に、貯留係数が0.1～1.0%で変化することがある）、各観測井について決定するものとする。

表 6.3-1 観測井の配置と観測内容

位	深 度	数	観 測 内 容
山麓沖積地 ～扇状地扇頂部	地下水面以下 10 m程度	2	地下水位連続観測 水質定期検査（1回/月）
扇状地扇中央部	地下水面又は上部礫層 のうち、深いものより も10 m程度下まで	1	（上の2者）
扇状地扇端部 ～海岸の農耕地	塩水侵入の境界より多 少深く	2	（上の2者、及び） 定期的電気検査 （水位変動の大きい） 時期を中心に

（なお、具体的位置及び深さは、各ワジにおいて地形・地質状況が異なるので）  
別個に決定する。

(2) 物理探査

○ 弾性波探査

かつて実施された調査（第4章 ページ参照）においては効果を挙げていないので、ここで改めて本格的な実施を検討する必要はない。

○ 電気探査

ILACO の調査では、海岸に直交する測線における電気探査により、効果をあげているが、W.Ahin以外の4ワジの、特に平野中央部については極めて地下水面が深く従って、地層の乾燥が著しいことから、この地区における効果については疑問である。

なお、前述 ILACO の調査から考えて、海岸地方の地下水利用域における塩水化の把握のための水平探査は有効であろう。（ただし、経費の面からは、無数に存在する浅井戸地下水の塩素イオン濃度測定が簡便かつ確実である）

(3) 地表水浸透機構の解明

将来、洪水流水を地下浸透させるための施設計画を検討するに際しては、地表水浸透機構の解明及び浸透量の把握が不可欠である。(乾燥地域においては、浸透水が深い地下水面へ降下する過程において、相当量が蒸発し、また、乾燥した土壌粒子に吸着される可能性がある。)また、平野上におけるワジ流路からの流水の浸透量、平野上に降った降雨の浸透についても、その量を推定することが水収支解明の上から重要である。

このため、将来の事業化の検討に際しての涵養効率の評価のための一つの方法として、涵養域となるワジの山麓沖積地～扇状地扇頂部において中性子水分計を用いた検層が考えられる。検層深度は地下水面までとし、このための簡易な調査孔が必要である。検層の実施は自然の降雨及びワジ流水を待って継続的に数回実施する必要がある(人工的散水によるのでは、地下水面が深いことから十分な調査効果をあげることが困難である)このことにより、地表水が地下に浸透・降下していく状況及びその量の把握が可能となる。ただし、中性子水分計による含水量の定量化のためには、各地質毎に詳しいキャリブレーションが必要であるほか、さく孔技術(特に、孔の形状及び孔周辺の埋戻し)の問題、深層部での効果に関する疑問がある。

#### 6.3.4 地下水観測システムの設置及び観測

##### (1) 観測井による点的観測(長期連続観測)

観測井の設置に関しては、既に6.3.3.において述べたとおり、地質ボーリングにより作成された孔を補助観測井として揚水試験(段階、連続揚水試験)を実施し、水理諸定数を求めるものとする。

観測井においては長期間にわたり(調査期間終了後、オマーン国側に移管)地下水位の連続観測を行うものであり、特に降雨及びワジ流水と地下水位の変動の把握(海岸部においては潮汐との関係も含む)が重要である。このため、メンテナンスが容易であることはいうまでもなく、次の諸条件が必要である。

- 長期巻・自記記録(その期間については調査期間内の日本側の体制、その後のオマーン側の観測体制からする保守・点検の順回期間等を考慮。一方、記録紙の乾燥収縮にも配慮)、厳しい条件下における長期間稼動が可能となる内部電源(電池)が必要。
- 水平変動幅を考慮しつつ、場合によっては2縮尺の2ペン式とする。
- インクについて、その耐乾性と容量に配慮。
- 気候条件を配慮し、水位計は観測小屋に収容する。

なお、海岸部においては、表6-1で示したとおり、補助観測井(地質ボーリング孔)を利用して定期的に電気検層を行い、塩水浸入状況の把握を行うものとする。この際、特に海

岸部に近い観測井においては、予め大局的に潮汐と電気伝導度変化の相関性を確認しておき、その変動が特に著しいようであれば、今後の検層は同一潮汐時に実施する等の配慮が必要となる。(ただし、検層実施毎に、地下水面下のケーシングを除去する必要がある、このことがどの程度可能であるか予め検討する必要がある。)

観測井の設置に際しては、海岸線より各観測井まで簡易水準測量を実施しておく必要がある。(地下水面の標高を出す必要がある。)

既に設置している補助観測井(地質ボーリング孔)と水位計を設置する主観測井の間隔については、既に示されている概略の水理諸定数に基づき場水試験の観測として最適なものとなるよう、個別に決定するものとする。

なお、観測井の設置、その他地下水関係調査全般については、UNESCO、1972の“Ground Water Studies—An international guide for research and practice—”(邦訳;最新地下水学,山海堂,1980),或いは、“建設省地下水調査及び観測指針(案),全国地質調査業協会連合会,1978,”等が参考となる。

## (2) 既設井戸を利用した地下水面の面的把握及びその変動把握

前項で述べた観測井における観測は、固定点における地下水位の詳細な連続記録を得るものであるが、この他に、地域全体の地下水面の季節的・経年的変化を調査し、水収支の変動に伴う地下水面及び塩水侵入状況の把握並びに降雨等の地表水浸透に伴う地下水面の把握を行う必要がある。

調査の対象は、極力多数の井戸を利用することとする。地形図上においては、農耕地に“numerous wells”の注記があり、これらの中から、大規模稼動井から遠く、覆い等が無く常に測水可能な井戸、又は放棄された井戸、かつてのG I B B等の調査井戸を選定する。なお、オマーン国農漁業省においては、この地方において、200ヶ所程度(本プロジェクトの対象5ワジの地区以外も含む)の浅井戸により、水位等の定期観測を実施しており、これらも活用可能である。

観測の方法は何れも一斉観測とする。特に降雨後に実施するものについては短期間に行う必要がある。地下水面の把握は、予算の制約もあるが、最小限として夏期に1回、冬期には降雨のない時期に1回の他、降雨後の地下水面の把握のため、複数回の一斉観測を要す。

なお、水面変動と併せて塩水侵入の面的把握(電気伝導度測定)をも行うこととするが、既設井は深度分布が多様であることを念頭におく必要がある。

### 6.3.6 治水及び環境影響評価に関する検討

最後に現地調査段階で感じた以下の2点について附記しておきたい。

その第一は治水に対する配慮である。当該地域は年間降雨は少ないものの1回当りの量は50mmにも及ぶことがある。したがって一回洪水が発生すると相当の被害が発生している模様である。1981年5月にも相当大型の洪水が発生し海岸沿いの家が流失し、人命の損失も可成りのものであったらしい。現地調査段階でも破壊された道路のガードレール、家屋の塀等を見ることができた。一方、このような状況に対して、洪水に対する備えの欠けが目立った。具体的にはWadi channel 内に道路を建設する(地形が平坦であるから構造的に好条件)、Wadi channel を横断する道路にしても殆んど橋梁を使わず道路の縦断をWadi channel 横断形状に合わせる、水が確実に流れると思われる海岸沿いに家や畑がある。都市計画道路の排水処理についても道路を守るのみで周辺の土地利用を考えていない、等々である。今後、水資源開発施設計画を考える必要が生じた場合、これらの施設に洪水防御機能を持たせることも可能であり、又経済評価をおこなうに当たっても有利に働き、元々、水利用計画とは河川の治水との調和の上に成り立つものであれば、今回基礎調査においてもこれら洪水被害あるいは洪水水文資料等の収集も追加しておく必要があるかも知れない。

現在、一部地域においては、海岸沿いの幹線道路より内陸側において大規模な開発が現に行われている。(例えば Sohar における国営農場等) 今後、地下水の人工涵養事業が実施され、海岸地帯における地下水の新規開発が可能となり、これに伴ってこの地帯の開発が行われることとなる場合には、この地帯が、一部では海岸砂立と扇状地の間にあって低平であることに加えて、流路変動の可能性の大きい扇状地扇端である地形条件の故に、治水に対する配慮が必要となろう。即ち、現在のワジ水系においては洪水流の到達し得ない旧流路等であっても、扇頂部における堆積状況の微妙な変動によっては直ちに洪水被害に直面する可能性があることに留意する必要がある。

その第2は、沖積平野における植生調査である。沖積平野の植生は微妙な水収支バランスの上にかろうじてその生態系を維持していることが予測される。今後、水資源開発計画を考察するにあたっては、水の循環系に可成りの変化が生じることも考えられるためこれら生態系(特に植生)の現況把握と今後の変化を予測するために必要な情報の収集把握にも留意する必要がある。

附 錄





# オマーン国における水資源の現況と展望(邦訳)

オマーン国水資源審議会 1979.5

## 目 次

2.3. パチナ地方*	147
2.3.1. 概 説	147
2.3.2. 水 資 源	148
2.3.2.1. 気 象	148
風, 降雨, 気温, 蒸発	148
2.3.2.2. 表 流 水	149
2.3.2.3. 地 下 水	151
Hard-rock zone	
Soft-rock zone	
2.3.3. 水 利 用	153
2.3.4. 水 質	156
2.3.5. 水 取 支	158
2.3.6. 地域的水資源問題	160
2.3.7. 結 語	161
2.3.8. 提 言	162
2.3.9. 附 録	164

## 2.3. パチナ地方

### 2.3.1. 概 説

歴史的にみてパチナ地方は、北部オマーンにおける主要な農業地域である。

1972年における総耕作面積は145 km<sup>2</sup>におよんでいる。

9～10世紀にかけては現況の約4倍であった(Sohar Wilkinson 1977)。それ以来水資源について大きな変化はなかったものの、海岸沿いのナツメヤシ林を灌漑してきたファラジは、政情の不安定や戦争によって破壊された。

広大な水路網の遺跡が、今日でもNakhlからBarka 地方を経て、その北方Sohar 近くに至る間に、15～20存在することが明らかにされている。(Wilkinson, 1977)

冬期月において、或は夏期の渇水時にファラジの流量が減少した場合、手汲み井戸がファラジの供給能力を増大させてきた。

これらの手法は地下水の保全や浅層地下帯水層の過剰開発の防止等に寄与してきた。

\* 標記のうち、パチナ地方にかかる部分のみのコピーを入手したので邦訳を掲載する。

このような、以前は1年中のうち何か月間に限り利用されてきた井戸が今日では、年中ポンプアップされている状況である。今日、バチナ海岸地域におけるナツメヤシの林やその他の畑は、その100%が、機械的なポンプアップ手法を装備した手掘り、或は、ボアホールから、かんがいがなされている。

Seeb から、アラブ首長国連邦国境に至る間の海岸沿いでは農耕適地が多い。地下水供給の限界がこれら地域の長期的かつ、確実なる土地利用開発を制約している。

過剰汲み上げと、低いかんがい効率は、水質悪化の要因となり、局部的な海水汚染により海沿いのナツメヤシ林の一部は放棄せざるを得ない状況にしている。

今後数年間における、バチナ海岸地域における水資源開発と管理のやり方は、これら地域の伝統的農業の発展を左右するものと思われる。

## 2.3.2. 水 資 源

### 2.3.2.1. 気 象

#### 〔 風 〕

バチナ地域における風の状況は季節により左右される。夏と冬の二つの季節は、明確な風向の変化によって特徴づけられる。

11月から3月にかけては、地中海からバチナ地方にかけて広がる寒気団を動かす北西の風が吹く。

これら寒冷前線の動きは前線性の嵐に発達するが、これらの嵐は長時間にわたり、かつ広範なものであるが、強度には限りがある。

これらの嵐は、夏期のじょう乱によって発生する嵐とは明らかに異なる特徴を有している。

4月のはじめに、これまで優勢であった北西風は弱まり、より強力な南西のモンスーン風が卓越してくることとなる。

熱帯性気象融合帯 ( Inter-tropical convergence zone, ITCZ ) は2つの気団の間に形成され、しばしば烈しい嵐を発生させるような気層の急激な上昇の原因となる。

このような状況が9月中旬から10月上旬頃まで続き、その間モンスーン風は次第にその勢力を弱め再び北西の風に変る。

4~5月、または、10~11月の遷移期間においては、風向が一定しなく、時々低気圧性の嵐が発生する。

最近における主要な低気圧は1977年に発生し、Maairah 島や北部海岸沿いの漁村等、広い範囲にわたって災害をもたらした。

### 〔 雨 〕

高温、多湿なバチナ海岸地域の気候は、インド洋モンスーン気象圏の影響によるものである。

殆んどの降雨は、夏かもしくは冬の間に発生する。

広い雨域の降雨は、殆んどが12月から2月の冬期に発生する。

夏の降雨は狭い範囲に限られ、南モンスーンのじょうらんか、もしくはITCZの影響を受けて発生する。

モンスーンの影響を受けた降雨は海岸から内陸に行くに従って、弱まる傾向がある。

同様な傾向は、海岸沿いのJabalの南部から北部にかけて降雨と標高との間にも存在する。また、同じ標高においては南部より北部の降雨量が少ない。

大略、バチナ地方における3分の1の地域において年間降雨量は100mm以下となっている。(ILACO 1975)残る3分の2は、標高100~2,900mのオマーン山脈により形成されるHard - rock地帯である。

Hard - rock地帯からの流出により、海岸地域平原に対する大部分の地下水かん養がなされる。

最近得られたHard - rock地区における降雨データによると年平均降雨量はJabal Akhdarの350mm以上から海岸沿い或は内部砂漠地区の100mm以下まで様々である。

(Macdonald, & Partners, 1978)。

ILACO (1975)は、AL KhaburahとIbriの北方Jabalの東西両側の加重平均年間降雨量は115mm/yearであると試算している。

### 〔 温度 〕

気温は、風や雨の季節的变化にもとづいて変る。最低気温は大抵12月か1月に、最高気温は5月か6月の夏期月に記録される。

日気温の最高最低の範囲は冬期で25°~15°C、夏期で41°~27°Cである(Gibb, 1974)、一般的にOman海の影響を受けているために内陸部より海岸部で若干涼し目である。

### 〔 蒸発 〕

最も蒸発散量の大きく、水の消費の大きい期間は6月と7月である。最小は12月から1月である。(Macdonald & Partners, 1978)、湿度は、夏期6月から9月にかけての間と12月から1月にかけて高い。

## 2.3.2.2. 表流水

主要な表流水源は山間部の降雨である。

表流水は、泉、洪水流出、或は、いくつかの主要なワジ上流域における、年間続けて認められる流水に限られる。

洪水時における流出量は、嵐の烈しさ、とその面的、時間的拡がり、ワジ流路の勾配、沖積層の固結程度、地質と植生、等種々の要素に左右される。

1973年、D. J. Burdonは、表流水とかん養量の関係にもとづきバチナ海岸平野における17,500 km<sup>2</sup>の地区における地下水の利用可能量を概算した。

その結果、約270 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/年の表流水がSoft - rock zone (plaine) にかん養されているとしている。(F.A.O. 1973)

Burdon (1973)が、彼の報告書を書いた時点でいくつかの水資源に関する調査が、Omanにおいて実施されている。

1975年までに新たに3つのバチナ地方の地下水評価に関する調査がなされている。具体的には、Sir Alexander Gibb & Partners, 1975, ILACO, 1975, とKonteatiss 1975である。

バチナ地方における山間部の多くの町や村および、それに関連した耕作地は、年中絶え間ないワジ表流水を分流したり、山ろく沿いのワジから湧出する天然湧水を利用することにより、簡単に信頼できる表流水の開発利用を確立している。

Sir Alexander Gibb(1975)によると、Oman山脈には次のような3つのタイプの湧水があるとされている。

- 1) 高標高の石灰岩の湧泉
- 2) オフィオライトの湧泉
- 3) 低標高の石灰岩の湧泉

1) 高標高湧泉(標高1800 m程度)は通常、不透水性基盤上に広がるHajar Super Group limestone 上で見ることができる。浸出量は一般に小さい(4 l/s以下)がRustaq & Nakhl周辺に見られるようないくつかの大きな湧泉水は地下水資源の重要な構成要素となっている。

2) オフィオライト湧泉は、Samail オフィオライト群の中で見出される。

これらの泉の水は一般的に非常に高いPHを示し、家庭用水としてはアルカリ性が強すぎるものと考えられる。

長期間におけるこのような高濃度の水酸化カルシウムや硫酸塩を含んだ水の利用は、慢性的な健康障害の危険性がある。

3) 低標高石灰岩湧泉は、北部Omanにおける最も重要な泉源であると見なされている。

これらは、Hajar limestone 大山塊の南周辺の区界、とJabalの北縁の間に見出さ

れる。

### 2.3.2.3. 地下水

地下水は、Oman の水利用量の 95 % を供給している。バチナ海岸沿いにおけるかんがい用水の供給システムは、殆んど 100 % を井戸の使用によっているという点で、他の殆んど地域と異なっている。

約 10,000 の井戸が、Seeb から Shinas に至るバチナ海岸沿いにありポンプアップされているものと見積られている。(Durham University, 1975)

北部Oman調査を実施した人々例えば、ILACO, 1975; Renardet, 1975; Sir Alexander Grbb, 1975; Konteatis, 1975,らは、主要な流下域をhard rock zone と soft rock zone に分割している。記述的な目的のために、これらの言葉は、バチナ地方においてのみ使用される。

#### Hard-rock zone

バチナ地域におけるHard-rock zone はJabalの西側のhard-rock zoneの面積より、50%増の流下面積を有する。

これらは急峻な勾配、貧透水性、深く切り込んだワジ流路や、高い流下ポテンシャル等で特徴づけられる。

これらの地区における地下水は、破碎帯、断層部、溶蝕洞やその他の風化帯に限定されている。

Hard-rock zoneにおける水文学的観点からの主要な地質学的構成は、GIBB(1975)によって明らかにされている。

- 1) 先二疊系基盤岩類(Pre-Permian basement rock)は大部分が石英、砂岩や頁岩により構成されている。

これらの岩は、小さいが年中水を湧出するたくさんの泉を含んだかたい、black limestoneにより覆われている。

- 2) Hajar super-group limestones は“mauntain limestone”として知られており、この基盤はjabalの主要な傾斜面を構成している。

岩の不透水性により、表流水は非常に速く、地下水はわずかに破碎地帯や、又は石灰岩とHawasina formatonの接触地点で見ることができる。これら湧泉ラインは、地域的には相当に重要なものである。破碎地帯は、地下水開発の展望を与えてくれる可能性がある。

Hawasinaを覆っている接触線沿いの湧泉水の量は、水平のボーリング技術により明

らかにすることができる。

3) Hawasia- これらの基盤は、チャート質砂岩、珪化石灰岩や頁岩より構成される。

これらは基本的に難透水性であり、帯水層としては好ましくない。

4) Samail nappe - これらの岩は“オフィオライト”として知られており、かんらん岩、はんれい岩、玄武岩、や火山角礫岩等からなる塩基性、又は超塩基性の厚い層を形成している。

これらは、基本的に不透水性であり、崩壊に強く、主要Wadi を狭い谷に押し込み、基底流を表流へ押し出している。

塩基性の高いPHを有する湧泉は、このような構造のところでのみ見ることができる。

主要な洪水の流下期間において、下流域部においては海岸沿い平原内における沖積層の貯留能力の大きさと、高い透水性のために上流部より多くのかん養がなされる。

洪水流がWadi 入口のSoft-rock zone に至ると沖積層に浸透しながら網目状にその流量は拡がる。

このような形で、南パチナ平原におけるかん養量の約80%がなされるものと想定されている。(Gibb, 1975)

平原部における直せつ的なかん養は、実質的に上流部のWadi 流路に表流水がある時にのみ期待することができる。

#### Soft-rock zone

この地域は、山ろく沿いの狭い範囲に露出する第三紀の石灰岩と広大平凡な海岸平原を形成する厚い沖積堆積物により構成されている。

#### 1) 第三紀石灰岩, Nakh1 の西部

これらの石灰岩は、とりでのような眺望で象眼のような形で露出している。また、これは、パチナ平原を横断する主要なWadi によって分断されている。

露頭から見ると、これらの石灰岩の層は海岸へ向ってゆるやかに低下しており、岩石学的に見て水を生み出す可能性を有する地区と見なすことはできない。

これらの化石を含む石灰岩は、マッシュであり、部分的に再結晶化し、また、相当量の粘土を含んでいる。

露出から判断すると著しい破砕を受けているとは見受けられない。

さらに東部のWadi Lansab Basin においては、いくつかのポアホールによりこれらの石灰岩の堆積層から少量の地下水の湧出が期待できることが知られている。これらは明らかに溶蝕洞(solution cavities)からのものと認められる。1965, PD(0) は、Muscat と Seeb の間に淡水源の開発を目的としてこれらの石灰岩の中に7本の深

井戸（最も深いもので600m）を掘削した。

海岸部の石灰岩中の不良な水質と扇状地における異常な掘削深は、これらの試みが無駄なものであることを結論づけた。

## 2) 第四紀層（原文は alluvium であるが、第四紀層をさすものと思われる。訳者注）

これらの堆積層はバチナ海岸平原の主要な淡水層を含み余り分級されていない際、砂シルト、粘土の混合物からなる平原中央部と、よく分級された良質の砂とシルトからなる海岸部とからなる。

最も良好な、井戸は大きな、しかもよく変動する Wadi 流路系で見ることができる。

このような Wadi 流路系の外部では部分的に固結した古い第四紀層に出会う。

これら、第四紀層の厚さは山ろく部から海に向ってその厚を増す。

Wadi Bani Kharus の近くでは少なくとも 300m の第四紀層の厚さがあることが 2本のボアホールにより確認された。山ろく近くでは、相当に薄くなって行く傾向にある。浸透度は一般に高いが、洪水によって運ばれる砂、シルト分の多い海岸部に向って減少する傾向にある海岸沿いや、せいぜい 3Km 内陸部へ寄ったあたりには、よく分級された沿岸性の堆積物と透水性の高い Wadi からの堆物が接合する。

このような堆積物上にナツメヤシの林が多い。大量の伏流水が下流部の扇状地やデルタ地帯の中を複雑に流れる Wadi の間に存在する。しかしながらこの流量を計量的にとらえ評価することはむずかしい。

## 233 水 利 用

この地域における最大の水消費要因は農業である。海岸沿いの耕作地は Seeb の北方 250 Km にまで広がっている。これらの耕作地は、殆んどが連結した細長い土地で小さなナツメヤシ林、野菜、その他まぐさの畑である。

耕作密度は、主要な Wadi 流路系 (Wadi System) に近い水供給量が豊富で水質の良好な地域で高い Wadi から遠ざかるにしたがって畑は次第にまばらになる。水の供給が上流部の洪水 Zone からのみ実施されていた間は、地下水系の収支は保持されてきた。

この 15 年間にディーゼルポンプが導入され海岸沿いの取水がなされることにより地域的に地下水の水質が悪化し農業生産が低下した。

内陸部の村落においては、ナツメヤシの林は狭い Wadi の底部に発達した。例えば、水路の最低部等である。

安定的な水の供給源は年中絶えることのない Wadi 流量の分流、ファラージや井戸の開発或は、周辺に湧出する多数の湧泉等の利用によって得ることができる。

山間部においては、時として需要より供給量が上回る場合がある。これらの水は放棄されるわけではない、というのは殆ど未利用の水は地中に浸透し、下流の村落で利用されるか、又は沖積平野へ伏流するからである。

山間部における耕作適地の広さが基本的にその地域の農業開発を制約している。

山ろく沿いにおいては、ファラージは今もって主要かつ効果的な地下水開発手段である。

GIBB(1975)は、ファラージの最小流量と村落のナツメヤシ林の規模の関係について記述している。明らかにナツメヤシ林の規模は最小可能供給水量に左右されている。

1970年以來、とくに海岸沿いにおいてディーゼルポンプの使用によって新たな水が得られ、より多くの飼料作物が栽培されるようになった。

Seeb に近いバチナ地域を除く地域で全体的には5%以上、耕作地が増加したとは考えられない。

Wadi Hawasina と Bani Gafir の間で Durham 大学の専門家チームが1973年以來農民と漁民に関する問題を調査している。調査団は水の汲み上げとかんがい方式に関する多くの情報を得ている。

大学では(1975)(冬と夏の汲み上げ量を各々  $78 \text{ m}^3/\text{d}$  と  $127 \text{ m}^3/\text{d}$  として)井戸全体からの汲み上げ量は、バチナ地方において、370 百万  $\text{m}^3/\text{year}$  と見積っている。

この数字は、Burdon(1973)の試算より、100百万  $\text{m}^3/\text{年}$  多い。

地下水の過剰汲み上げによる水位の異常低下と水質の悪化の継続は、海岸沿いにおけるポンプアップの制限や、これ以上の農業開発の禁止に至らしめるかも知れない。

表 2.3.9.1 は、1976年における小地区毎のかんがい面積と水需要量を示している。

これらの計算は Water Resources Council の最近の作業に過去の流量調査の結果を加味して実施されている。(Russeau 1978)

これらのデータはいくつかの地区において水利用量が、利用可能量を上廻っていることを示しているとともに地方道路より陸寄りの今後の農業開発が、海岸沿いの畑を危険にさらす可能性があることを示している。

現在のかんがい技術とシステムは政府後援による村に対する自立計画 (self-help program) を通して改善された。これらの自立計画では農民に対する技術、或いは財政(必要であれば)的援助がなされている。

ポンプアップの必要性や、その費用は、もっと直接的に植物にライニングされた水路で結びつける方法によって大幅に減少させることができる。

このような方法は結果的に帯水層へのポンプ負荷を減少させ地下水保全の一助となり得るであろう。

現況かんがい効率を20%向上させる目的で実施される基本的な改善策により得られる



水の節約量を表 2.9.3.4. に示す。表 2.3.9.1 と表 2.3.9.2 は現況作物の消費にもとづくかんがい用水の必要量と各バチナ地域の小地域における年間のかん養量の比較をおこなっている。

これらの表はすべての地域において年間かんがい用水の過剰取水の傾向を示している。

2 地域と 6 地域に見られる水収支のギャップは必ずしも当該地区を代表するものではない。

上流域から海岸部に対して供給される伏流水の量はこれらの表に示されるものより多い可能性がある。

横方向の流域間移動は、今日考えているより広汎である可能性がある。

1995 年までの経済発展と人口増予測にもとづいて、水道用水供給システムは電気水省により、Rustaq, Sohar, Shinas, Al. khaburah, As Suuayq, Musana. Barka 等の町を対象に実施中である。

現状人口 1 人当り 15 ℓ/日 (Macdonald & Partners, 1978) は新しい水供給システムの出現によりめざましく増加することが予想される。

現状における家庭用水の消費量は農業用水と比較した場合余り重要ではなく、バチナ海岸全体でも 1 百万  $m^3$ /年を越えることはないであろう。

10~15 ℓ/日 という原単位は、近代的水供給を有しない当該地域の平均的システムが完成した段階では、50~80 ℓ/人/日に増大することが予想される。

1995 年には 200 ℓ/人/日に増大することが予想される (Macdonald & partners, 1978)

調査によれば、現況においては需要に見合った供給源においてもいくつかの村においては今後問題となるであろう。

大首都圏に対し、長期的に水を供給するための供給源としては、コンサルタントは電気水省に対して、Al Khabnra から Sohar の間 40 Km の間隔で 7 本の井戸を開発することを提案している。

どの程度の開発可能水があるかは調査にもとづかなければならない (Capital Area 章参照；この邦訳分には含まれない。訳者注)

約 33,000 ha の新規開拓可能地が、バチナ地方で明らかにされている。

水質は開発を左右する最も重要な項目であると言える。水使用と利用可能量がすでに均衡状態にあり、したがって平地部における新たな帯水層からの取水は、水質の悪化のため、既存農業に悪影響を与える可能性がある。

農漁業省と石油鉱業省は農業を経済的企業的に成り立ち得るような形で発展させることを目指しつつ、Sohar 近くで大規模農業開発プロジェクトを開始している。

Sohar and Sahamプロジェクトは、Sohar Dairy Farmに対して新たに600haと1,1000haを各々付加拡大するものである。これらの農産物は、近代的、かつ効率的な灌がい技術を採用するであろう。

作物は飼料と野菜となる可能性が最も強い。既存の農場と新たに開発されるプロジェクトの間には確実に水に関する競合関係が増大するであろう。0.6ℓ/haという単位消費水量によれば、500haのムラサキウマゴヤシ(alfalfa)は新たに8百万m<sup>3</sup>/yearの水を必要とする。

水の過剰開発とそれによる海岸沿いの海水浸入を防ぐためには安全揚水量の設定を慎重におこなう必要があるだろう。

1970年以來のOmanにおける人口の増大と経済の発展は結果として、家庭用水と工業用水の使用量を増大させた。

しかしながら、バチナ地域全体の利用量に対するパーセンテージといった観点からみれば、まだこれらの利用量は微々たるものである。通産省はSoharに流下するWadi Jizzi上流域において発見された銅鉱山の開発計画を進めている。

これらの鉱山はBC. 4,500年頃にメソポタミアに対して銅を供給していたものと言われている。幾世紀も放棄された後、その工業は復活することとなる。

採掘、前処理、精練、精製の4段階の処理に必要な水は塩水が使用されることとなる。

30MWの発電所は32~40 m<sup>3</sup>/hourの蒸留水を生産することになる。

これら一連の生産活動に従事する800~900人の従業者集団に対してはいく本かの井戸が掘られて、水供給に供されるであろう。(Russell, 1978)

採鉱や鉱石の処理技術は、下流部帯水層を汚染させないために適切に処理廃棄しなければならぬ危険な排水を産出する。これらについてはできるかぎり、処理水を循環利用したり、蒸発させたりするように計画されている。

#### 2.3.4. 水 質

機械的手段による地下水の揚水は1950年代初頭にはじまる。

場所によっては、200%以上のポンプ施設の増加がありその結果、地域的には著しい過剰揚水と水質の悪化が発生している。

水位の変動や取水の変動に対する塩水くさびの応答性は、ポンプアップがかんよう量を上廻ったと同時にたちまち下部塩水層が上昇してくるほど鋭敏である。

Ghyben-Herzbergの法則によれば、海水面より下の淡水層の厚さは、海水面より上の水面の高さの約40倍である。

このことは仮に地下水面が1m降下するということは淡水、海水の境界線は40m上昇

するということを意味する。

かん養量を上廻るような揚水の継続のもとでは沖積層内での地下水流向の変化や、海岸近くにおける塩水の上昇により水質は悪化する。

地下水はバチナ地方の農家と経済発展の生命線であり、(地下水はワジ流域あるいは山ろく沿い地域の水需要の3分の2、海岸沿いではほとんど100%をまかなっている。)したがって、その水質と供給の安全性は保全され維持されなければならない。

利用可能な水質データの概況を表2.3.9.3に示す。当該地域において供給される水の水質は時と場所によって大幅に変動する。

表流水の水質は流量、流下或は滞留時間、水利用等によって変化する。一般的にWadi Sahtan, Hawasina, Sarami, Jizzi等のようなWadiの上流部における表流水の水質は殆んどの水利用目的に適合する。

殆んどが農業用水の排水であるが、部落から排出される水による汚染物質は、大きな部落の下流における塩水化の原因となる。しかしながら、今日の状況ではさほど厳しい状況ではない。

農業用水井戸における高い硫酸塩や塩化物の濃度は飲用水のための井戸を別途に使用することを促進させる原因ともなっている。(Gibb, 1975)

塩基性オフィオライトからの高いPHの湧泉は過去においては飲用に供せられた可能性もあるが、実際的には長期的観点から見て有毒の危険性がある。

地下水の水質は表流水より、さらに変化に富んでいる。バチナ地方においては位置及び深さの変化が著しい。

Wadiあるいは山ろく沿いの地域においては、取水された地点の帯水層の鉱物学的な構成の影響を直せつ的に受けている。このような地域の井戸から採取された水の総溶解物質(total dissolved solids T.D.S.)の程度は210~3,000ppmである。(Gibb, 1975)

T.D.S.濃度は海に近づくに従って低下して行き、再び海沿いのポンプ揚水の著しい地点で増大する。

山間部や、山ろく地帯(foothill)におけるかんがい用水の水質はS.A.R.(Sodium absorption ratio)の許容基準以下である。ナトリウムやマグネシウムイオンの含有量は、バチナ中央部よりWadi(Wadi inlet)の入口において高い傾向にある。

海岸近くにおいては、淡水と海水の混合とかんがい用水の蒸発ろ過現象等の原因によりナトリウム、塩化物の濃度は増大する。

バチナ平原と海岸沿いの水のPHは7と8の間である。(Gibb, 1975)

海に平行して、大部分の海岸沿いでは家庭用水として供給される水のT.D.S.は、WHO

の提案する最大値の水準である  $500 \text{ mg/l}$  を越えている。

殆んどの海岸沿いの供給水は、U.S.S.L.C.S ( U.S Salinity Laboratory Classification System ) の基準によれば、作物に対する危険度は、中程度或は厳しい程度のもに属する。

### 2.3.5 水収支

パチナ地域における最初の水収支総計は1973年FAOによって実施された。

限られたデータにもとづいて利用可能な水資源の概算量が報告書 ( Burdon, 1973 ) に記載されている。

その結論としては地下水は可成りの開発不足であり開発余力のあるのは一部地域に過ぎないとしている。

1973年11月ILACOは、北部パチナ流域の調査を開始した。1975年に、予備的な判断が含まれている interim report が提出されている。

これらの調査には長期間のデータが利用できなかったため何ら決定的な結論を引き出すことが出来なかった。

しかしながら、このレポートはAl KhaburahからSohar間の海岸沿い地域の第一次的な水収支を示している。

そして、全体的な供給と利用の間のアンバランスの存在を結論づけている。

SoharとAl khabura 地区においては蒸発散量が計算された地下水流入量を上廻っていることが明らかになった。しかしながら、地下水流入量は、2年続きの渇水年の末期に実施された信頼性の低いポンプテストから得られた単一の透水量係数を用いて計算されたものである。

かん養状態はこのレポートには考慮されていなかった。ILACO(1975)の調査と同時併行的にSir Alexander Gibb & Partners(1975)は南パチナ流域で調査を実施していた。

不幸にも、これらの調査期間には、大きな降雨のあった年がわずか1年間しか含まれていない。したがって流量、かん養、降雨等の関係は、たった1~2日間の激しい降雨日を含んだわずか1~2ヶ月間の流況にもとづく解析から得られたものである。

これらのかん養量の推算結果は本報告書に掲載されており「水収支概要」の中に示されている(表2.3.9.2)。

本報告書の目的に沿ってパチナ地域は7つの小地区に分割されている。

それぞれの小地区は海岸沿いの重要な農業地域に水を供給していると思われる流域や流域群を含んでいる。これら小地区の大略の地区界は図-2.3.9.0に示されている。

この水収支は利用可能水量を正確にはじき出すためのものではない。データの不足が正確さを防げており、したがって地下水の利用可能量を概略的に計算するためのみの目的で実施されている。

地域ベースで見た場合、未利用水があるように思われる。しかしながら、特定地区において未利用水があるか否かを明らかにするためには、新たな現地調査、ボーリング、帯水層のテスト等を考えない限り、不可能である。

正の水収支を示している 1, 3, 4 の小分割地区においても部分的には地下水の不足している地域を内在させている場合もあり得る。

水収支に余裕があるとしても、水利用地区という立場からその場所を眺めると恐らく水利用地点までの水の収集と運搬を考えなければならない。

水収支が負になっている地区、特に 4, 6 地点についてはこの地区におけるかん養量が微少であるか、又は、大略的に見てかん養量を過少に評価していることを示している。

かん養量は、年に 1 回或は 6, 8 ~ 10 年に 1 回程度発生するような嵐 (Storm event) によりなされる。

1 inch 以下の降雨がかん養に寄与しない確率が高いものと言える。

海へ流出する表流水は周知のとおりであるが、多数の Wadi 流路が平原を流下しているため量的に把握することは困難である。

海へのロスは雨の時間分布と先行的な土壤の湿潤状態によって左右される。

伏流水の海へのロスは、バチナ地域の殆どどの地区でバランスしているか、又は、減少の状況にあるものと想定される。GIBB (1975) はただ 1ヶ所において (east of Seeb) 地下水の流出が海岸沿いに存在することを確認することができた。

ILACO (1975) は、Sohar と AL Kaburah の間の主要な Wadi 流路近くで、伏流水の流れを確認することができる地点を見出すことができなかった。

淡水と海水の境界地帯にある浅層の淡水の流水は直せつ的な蒸発によって失われている可能性がある。

ナツメヤシ林と海の間 (sabkha zone) における蒸発散量は土壤の状態と水面までの深さに左右されて相当に変化する。

Wadi Taww と Bani kharus の間の約 80 km<sup>2</sup> の sabkha 地区からの年間の蒸発による損失は 23.5 ~ 58.5 百万 m<sup>3</sup>/year であると推算されている。(Gibb 1975)。損失の中には、海水と淡水の両者からのものが含まれている。淡水からの損失は微少であろうと推定されている。

伏流水の損失量は、計量化される必要があり、さらに sabkha 地区からの蒸発の機構の解明が推進される必要がある。

表流水の損失量の推算のためには、今後新たな調査が必要であり、このためには主要な Wadi が地方道を横断する地点や、山間部からの流出地点における総合的な観測ネットワークの設置が必要とされる。

### 2.3.6. 地域的な水資源問題

バチナ地方における水資源に関する基本的な要素は本報告書のこれまでの各節ですでに紹介されている。

問題をよりよく理解し、将来どのように改善されるべきかといった観点から今後取るべき手段については、2.3.8 節において概説している。

海岸沿いにおける需要と供給の間に存在する明白なるアンバランスが、当該地域における最も本質的な問題であると言える。この事項については ILACO (1975), Sir Alexander Gibb & Partners (1975), Durham University (1975) においても明らかにされている。

これらは、いぜんとして問題であるが、新たに Sohar から Al khabura にかけてのバチナ平原からの首都圏への地下水の移出 (Capital Area, Batina Corvey Supply 参照) や、農業用水開発計画により、さらに厳しいものとなっている。

第一義的に当局が注意を払わなければならない水質問題は大量かつ無差別な中揚程ディーゼルポンプ使用の影響であろう。海岸沿いの農民は無意識的に今日の問題発生に寄与している。何らそのような技術的体験もない状態で農民は相互にあまりにも近接した場所にポンプを設置し、その上過剰汲み上げをおこなった。ポンプの規模は往々にして要求されるものを上廻っている。このような状況に対する応答は直ちに現象として表面化する。

海岸近くの井戸は塩水化し、農業経営は一部耕地を放棄せざるを得なくなるほど困難化することとなる。

海岸沿いの地下水帯を特徴づける浅い地下水位や地下水勾配は相互に近接した数多くの井戸からの揚水に対して鋭敏な反応を示す。約 10,000 個のそのような井戸が今日、Shinas から Seeb にかけて存在するものと推定されている。(Durham University, 1975; ILACO, 1975; Rousseau, 1978)

塩水と淡水の境界線の位置と深さは、1975年 ILACO 及び Sir Alexander Gibb によって、相当良好な状態で推定表示されており、1978年には Seeb 近くでも再確認されている。しかしながら、これらは恒常的な観測にもとづいたものではない。

今後は現況における境界の位置と水利用の変化状況に対応した内陸部への移動の応答を評価するために系統的な観測と調査分析が要求される。

一旦、帯水層が塩水に汚染された時には、問題発生を防止し、帯水層を改善するために

嚴重な地下水揚水量の管理が必要となっている。

北部Omanにおける地下水かん養量は最も良好な時期においても微少である。渇水期間が長びくと地下水位の低下現象が発生する。このような現象は、ポンプ揚水を淡水と塩水の境界維持に関してより危険な状態にせしめる要因としてしまう。

Ruminas においては、2年間において(1976~77)連続的に地下水位が低下した。水質は或る部分では悪化し、逆に或る部分では改善された。水質が改善された原因は明らかでない。

或る特定の地下水帯の過剰開発とそれによるポンプアップのために生じた地下水流向の変化が、これらの現象を部分的に説明している。

海岸沿いの地下水は洪水流量の浸透により供給される。かん養量は季節或は年によって変化する。しかしながら、水位変化に及ぼす定量的な影響は明らかにされていない。

Sohar, Saham, Al Khaburah のように、地下水取水量が大巾に増加しそうな開発計画のある地区においては恒常的な地下水位の観測が必要とされる。

現在進行中の町や村への水供給システムに対する努力が第一義的になされる必要がある。

不幸にも排水除去と処理が考慮されていない。このような配慮の欠陥は衛生的な状態を危険なものとし風土病の蔓延を促すことにより、水供給システムの便益を減少させることになりかねない。

### 2.3.7 結 論

1975年、ILACO(1975)とSir Alexander Gibb & Partners(1975)は、海岸沿いで認められる高濃度の塩水化地下水(10,000 micro-mhos/cm以上)の存在にかんがみ、水利用は利用可能量とのバランスが保たれた状態が最も好ましい状態であると結論づけている。

コンサルタントは例えばSohar, Saham, Al Khaburah, Seeb等の海岸近くにおいては、水利用が淡水のかん養量を上廻っており、その結果として、土壤の塩水汚染、水質の低下及び、農業生産性の低下が生じていると指摘している。

最近のSeeb地区による調査によれば(Rousseau, 1978)明らかな海水進入度合いの進行が当該地区において確認されている。(Section 3.2), バチナ海岸地域における1975年以後のポンプ数の増加(数は明らかでない。)は、バチナ地方に以前から存在した種々の問題を確実に悪化させている。

AlKhaburahにおいては1974年以下、井戸の所有者は地下水の塩水化の進行を記録している。

動物を使った汲み上げに対してポンプが取って代って以降、冬及び夏期における汲み上げ

量は各々200%及び180%増加した。(Durham University, 1975), ポンプアップが規制されない限り水質は継続的に悪化していく可能性がある。

各々, Sohar と Saham の近傍で500kaと1,000 kaの2つの緊急性農業開発が商業ベースで計画されている。既存のナツメヤシ林の優先的な存在を認識した上で, このプロジェクトに利用可能な地下水量があるが否かについてはいくばくかの疑門が残る。

非効率的なかんがいの実態と健全な水管理計画の欠乏は海岸沿いの土地における既存の耕地の生産力増大と新たな耕地開発に対する主要な制約となっている。

現状においては, 長期的観点から開発可能な大量の未開発用水を当該地域が有しているという根拠も, 海岸沿いの細長い地区内で既存農業に支障を及ぼすことなく開発行為をおこなうという根拠も, 現況システム下においてこれを継続し得るという根拠もない。

既存の農業の拡大や, 新しい耕地の開発に必要な全体的な立場からの水資源の利用可能性に関する直接的な効果・手段は, 非効率的なかんがい用水利用実態を抑制することである。

このような考え方は, 既存の農業を犠牲にする可能性のあるような新たな開発計画地域において, 強力に配慮されるべきであろう。

長期的立場から見れば, 海水浸入がすでに発生し水質が悪化しているような地域では, 浅井戸から取水する考え方として, 徐々に集中管理されたシステムに移行するとともに, 地下水取水は, より内陸部において実施し, 海岸部の水利用者に送水するような方向づけをおこなう必要がある。

このような型の健全な水資源の管理は伏流水の損失の大半を防止可能にすることにより半永久的に総合的観点からの淡水供給量を増大させることができる。

また, これらは, 渇水期間中における揚水をコントロール或は制限することを可能ならしめ, さらに, 水利用者が水の再配分を最も多く得ようとして, 効率的な灌がいシステムを採用するように誘導されるといった付加的な効果がある。

海岸沿いの水質を保全し, 伝統的なナツメヤシ林の特質を維持しながら, 系統的, かつ協調的な水管理計画が, 新らしい土地開発を通して農業用水部門に展開される必要がある。

### 2.3.8 提 言

- ① 地下水問題が存在することが確認されたり, 又は, 新しく計画された開発が, 局部的に地下水に悪影響を及ぼしそうな, Sohar, Saham, Al Khaburah, Seeb 等のバチナ海岸地域において, 地下水の海への流失を減少させるための効率的な地下水取水のプログラムを検討計画するために必要な地下水モデルを開発する必要がある。
- ② 野外調査実施の結果, 計量的なデータが利用可能となるまで, 井戸からの取水は海岸沿いの農業を支えるために必要最小量に限定すべきである。



ILACO (1975) は、取水量を  $100 \text{ m}^3/\text{well}/\text{day}$  以下に制限することを提案している。

さらに好ましい水量は、海岸沿いで  $75 \text{ m}^3/\text{well}/\text{day}$ 、海岸から 2 Km 以内のところでは  $40 \text{ m}^3/\text{well}/\text{day}$  であると提案されている。

- ③ Sohar, Saham, Al Khaburah における精度の高い土地利用調査をおこなうこと。
- ④ バチナ地区全域の地下水位と水質観測のための総合的プログラムを確立すること、この中には塩水、淡水接合地点を明らかにする努力を含める。

さらに詳細な塩水、淡水接合地点の情報は現状位置の把握と塩水侵入の危険性のある地域を把握するために必要である。
- ⑤ 完全なる井戸の登録と水利用の目録作成を実施すること。すべてのポンプアップされている井戸とその取水記録を登録すること。

ポンプの小売商人は、すべての売却品の目録を水利台帳に含めるために W.R.C に提出することを要求されなければならない。
- ⑥ 管督官庁を通じて、農漁業省、石油鉱業省の実施する政府補助のポンプ計画 ( Pump program ) を調整しなければならない。
- ⑦ 深井戸の調査計画を樹て、浅い沖積堆積層の下部に淡水の有無を確認しなければならない。調査井戸の深さは 500 m 程度必要である。
- ⑧ 沖積層における表流水の損失を減少せしめ、帯水層へのかん養を増加せしめるための山間部 Wadi における低い堰の建設や、沖積平原において水を拡散させる技術等の可能性や経済的効果を評価検討すること。
- ⑨ subkha zone 内の地下水面からの直接蒸発による水の損失を把握するとともに、それを防止する方策の可能性を検討するための先導的調査 ( pilot study ) を実施すること。
- ⑩ Seeb と Barka 間、Sohar Saham, Al Khaburah 近くにおける山ろく沿いの主要地点或は、主要 Wadi が海岸道路を交差する地点において水位観測ネットワークを建設すること。
- ⑪ 主要水利用地区内における野性植物の水消費量を計測するための調査をおこなうこと。
- ⑫ 今後発生する排生する排水の処理処分をおこなうための適当な施設が設備されるまで、町への水供給システムの建設を遅延させること。

FIGURE 2.3.9.0

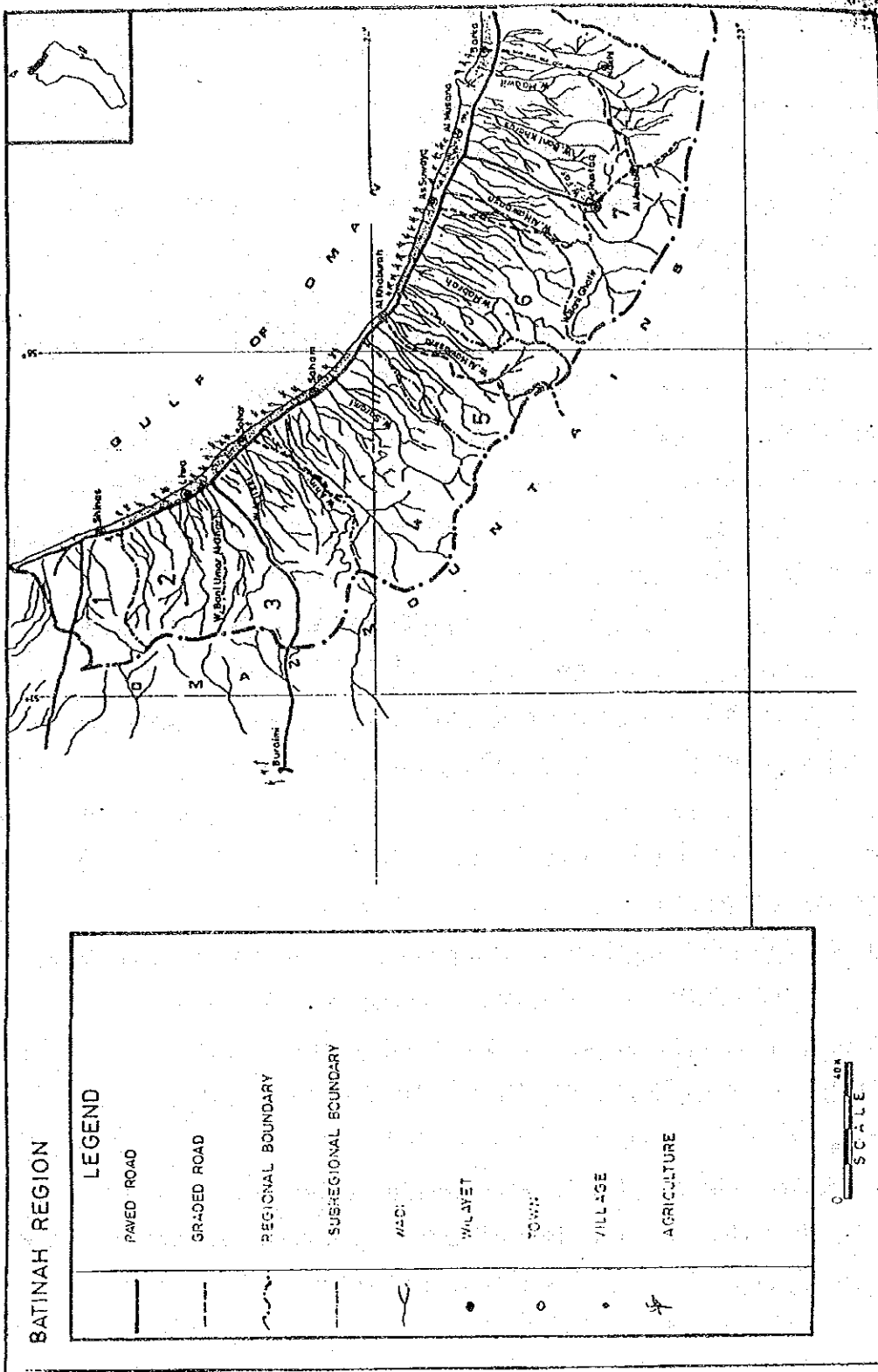


Table 2.3.9.1

BATINAH REGION

WATER DEMAND SUMMARY

(MCM/YR)

Sub- Region	UPPER BASIN & PIEDMONT				COASTAL PLAINS			Total <sup>5/</sup> Domestic Use	Total <sup>6/</sup> Government Municipal & Industrial Use
	Cultivated Area(ha)	Consump- tive Use	3/ Irrigation Requirement 45% Effic.	4/ Irrigation Requirement 45% Effic.	Cultivated Area(ha)	Consump- tive Use	Irrigation Requirement 45% Effic.		
1	410	8	14	14	2245	42	78		
2	449	8	16	16	2295	43	80		
3	495	9	17	17	1590	31	55		
4	380	7	13	13	660	13	23		
5	441	8	15	15	3659	69	127		
6	1270	24	44	44	2341	44	81		
7	656	12	23	23	1943	37	66		
TOTAL	4101	76	142	142	14733	279	510		

↑  
Approx.  
1 MCM/yr  
↓

- Notes: 1/ Subregion
- 1 - Khatam Malalah (Shinas) to Majis
  - 2 - Majis to Wadi Saham
  - 3 - Wadi Saham to Khawr Al Milh
  - 4 - Khawr Al Milh to Al Khaburah
  - 5 - Al Khaburah to Suwaq
  - 6 - As Suwaq to Wadi Jimi
  - 7 - Wadi Jimi to Barka
- 2/ Cultivated Area - Estimates were obtained from ILACO (1975), GIBB (1975) and Water Resources Council (1975).
- 3/ Consumptive Use = 0.6 l/s/ha
- 4/ Irrigation Requirement, 45% Efficiency = 1.1 l/s/ha
- 5/ Domestic Consumption is based on a population of 182,000 (Whitehead, 1972) using 15 l/d/p (Macdonald & Partners, 1975).
- 6/ Government, Municipal and Industrial Requirements are not available at this time.

Table 2.3.9.2

BATINAH REGION

WATER BALANCE SUMMARY

(MCM/YR)

Sub-Region	Wadi	1/ Hard-rock Catchment Area(Km <sup>2</sup> )	2/ Mean Annual Recharge to Wadi Channel	Wadi and Piedmont Water Use	Transfer to the Plains	Direct Recharge	4/ Total Supply	Coastal Water Use	Balance
1	Hatta to Bani Umar al Charbi	1,520	53	8	45	3	48	42	+6
2	Jizzi to Forest	965	34	8	26	3	29	43	-14
3	Sadum to Shafan	1,460	51	9	42	4	46	31	+15
4	Bani Umar to Hawasinah	660	23	7	16	2	18	13	+5
5	Mabrah to Hawaqawn (Bani Chafir)	1,340	60	8	52	3	(55 - 57)	69	-12 to -14
6	Far & Shatan	1,426	28 <sup>3/</sup>	24	2	1	(3 - 17)	44	-27 to -41
7	Taww, Bani Kharus, Maawil	1,364	50 <sup>3/</sup>	12	38	3	(37 - 41)	37	±4
TOTAL		8,735	299	76	221	19	240	279	-43 to -23

Notes: 1/ Hard-rock catchment Area for subregions taken from Konteatis (1975).

2/ Recharge for subregions 1-5 calculated using the method established by GIBB (1975); see Sharqiya, Sec. 2.5.5.

3/ Recharge and hard-rock area for subregions 6 & 7 and Bani Chafir were taken from GIBB (1975).

4/ Estates of direct recharge to plains are taken from Konteatis, 1975.

Table 2.3.9.3

BATINAH REGION

WATER CLASSIFICATION/QUALITY SUMMARY

Sub-Region	Area	Upper Basin & Piedmont				Coast				Remarks
		TDS	SAR	Classific. Irrig.	Dom.	TDS	SAR	Classific. Irrig.	Dom.	
1	North of Shinas	470-550	2.38-(B) 2.52	--	--	387-4434	1.00-(S) 9.35	--	--	(B) From Wadi surface flow where bedrock is exposed
		565(B)	--	--	--	313-6334	1.17-(S) 12.98	C2S1 C4S3	3	Midplains - Irrigation Classif. C2S1
		367-550	1.22-(B) 1.54	--	--	233-2685	1.22-(S) 2.03	--	--	(S) Shallow Hand-dug wells
2	Sohar	325	2.68(D)	--	--					
		284-666	1.09-(B) 3.08	--	--	560-22077	2.99-(S) 21.98	--	--	Mid-Plains TDS SAR 436 1.41
		269-447	1.23-(D) 3.33	--	--					
		446-794	1.53-(B) 2.25	--	--					
		211-526	1.44-(D) 2.00	C3S1	--					
3	W. Sarami	533	1.40(B)	--	--	674-1823	2.49-(S) 6.18			Mid-Plains TDS SAR 6.08-1.91- 14.23 13.12
		3647	14.99(B)	--	--					

Sub-Region	Area	Wadis & Piedmont			Coast			Remarks
		IDS	SAR	Classific. Irrig. Dom.	IDS	SAR	Classific. Irrig. Dom.	
4	Al Khaburah	291-647	0.90-3.70 (B)	--	--		C3S1(W)	(W) Well
5	Wadi Bani Ghafir							
	Gafui			C2S1	2(F)	*See Remarks*	740-5166 (EC)	30% of wells had SAR values greater than 9 47% of wells had SAR values between 6 and 9 (F) Falaj
6	Hawqayn			C3S2	3(F)			
	Wadi Far							
	Rustaq			C2S1	2(F)			
	Wishal			C2S1	2(F)			
7	Mizfar			C2S1	2(F)			
	Wadi Taww			C2S1	2(F)			
	Wadi Ma'awil			C3S1	2(F)			
	Wadi Bani Kharus			C2S1 C3S1	2(F)			

## CAPITAL AREA - FUTURE PLANNING REGION

\*(EC) Electrical Conductivity (micro-mhos/cm)  
EC values less than 750 cause few problems for farmers, between 750 and 3000 there are increasing problems, over 3000 problems become severe.

- 1/ Water Resources Development Project, Interim Report, Volume 2, ILACO, January 1975.
- 2/ Water Resources Survey of Northern Oman, Final Report, Volume V, GIBB, January 1976.
- 3/ Research and Development Surveys in Northern Oman, Final Report, Volume II, Durham Univ., 1978.

Table 2.3.9.4

BATINAH COAST

IRRIGATION ALTERNATIVES

SUMMARY

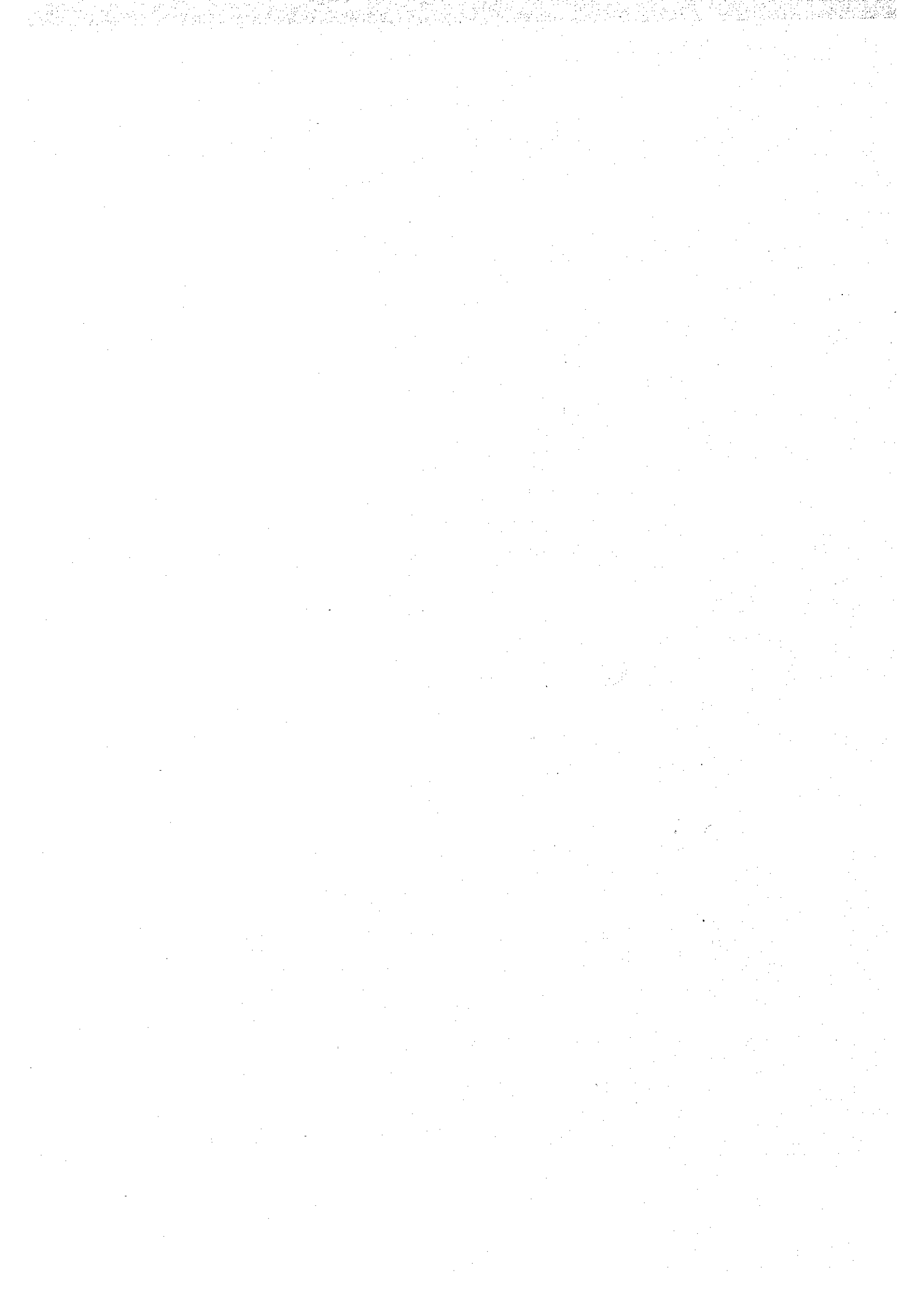
(MCM/YR)

Sub-Region	Maximum <sup>3/</sup> Estimated Recharge	Irrigation <sup>1/</sup> Requirements (45% Effic.)	Surplus/Overdraft with 45% Effic.	Irrigation <sup>2/</sup> Requirements (65% Effic.)	Surplus/Overdraft with 65% Effic.	Net Water Savings with Improved Efficiency
1	50	78	-28	57	-7	21
2	32	80	-48	58	-26	22
3	48	55	-7	40	+8	15
4	20	23	-3	17	+3	6
5	57	127	-70	92	-35	35
6	17	81	-64	59	-42	22
7	37	66	-29	49	-12	17
TOTAL	261	510	-249	372	-111	138

Notes: <sup>1/</sup> Irrigation Requirement (45% Efficiency) = 1.1 l/s/ha (ILACO, 1975)

<sup>2/</sup> Irrigation Requirement (65% Efficiency) = 0.86 l/s/ha

<sup>3/</sup> Maximum estimated recharge for part of Subregions 5, 6 and 7 taken from GIBB, 1975. For Subregions 1 - 5 estimates were calculated using the percentage of primary runoff from hard-rock areas, Konteatis (1975), ILACO (1975) and GIBB (1975).







JICA