

4. 3 水理地質

4. 3.1 水理地質の概要

北部オマーンでこれまでに行われた水資源開発計画では調査地域をその地域の主要な岩質によって大きく2つに区分して扱うことが行われてきた：

特に Gibb (1976) は硬岩地帯 (Hard Rock Zone) と軟岩地帯 (Soft Rock Zone) の2区分を用いている。

硬岩地帯は石灰岩やカンラン岩などのよく固結した岩石からなり、一般に帯水性の貧弱な地質からできている。一方軟岩地帯は主として沖積堆積物などの碎屑物からなり、一般に多孔質で帯水性にすぐれている。前節4.1で論じた4つの地形区分はここで更に2つの水理地質区分に再区分されるが、それらは以下のようになる。

硬岩地帯：主山地及び、前衛山地

軟岩地帯：周縁ワジ平原及び、砂礫原

主山地の主要な地質は、変成を受けたシルト岩や礫岩、苦灰岩、苦灰質石灰岩、および石灰岩である。また前衛山地では、超苦鉄質の海成の火山岩やオフィオライトのハンレイ岩などが主要な岩体をなしている。

軟岩地帯では、周縁ワジ平原部で泥灰岩や砂質泥岩が古第三紀の石灰岩とともに露頭しており、砂礫平原には完新世の碎屑堆積物が広範に分布している。

一般的な傾向として、古い岩体ほど透水性が貧弱であり帯水性も悪い。

散発的な河川活動によって、山間部では深い谷が形成され、山麓部の古扇状地や沖積地帯も開折されているが、沖積平野部には網状流路が発達している。洪水性の河流はそのほとんどが蒸散と地下水涵養で消失するが、一部は海岸部にまで到達し海に流出することもある。地下水涵養速度は地表の地層の浸透能によって大きく変化する。平野部では、通常上流部のワジの河道沿いと中流下流部の砂礫平原部が浸透能にすぐれている。

主山地と前衛山地は、岩質が緻密であり、地質構造が乱れているために広範な帯水層の分布を期待することはできない。この乱れは、主山地では大規模な背斜構造によるものであり、前衛山地の場合は衝上断層によるものである。

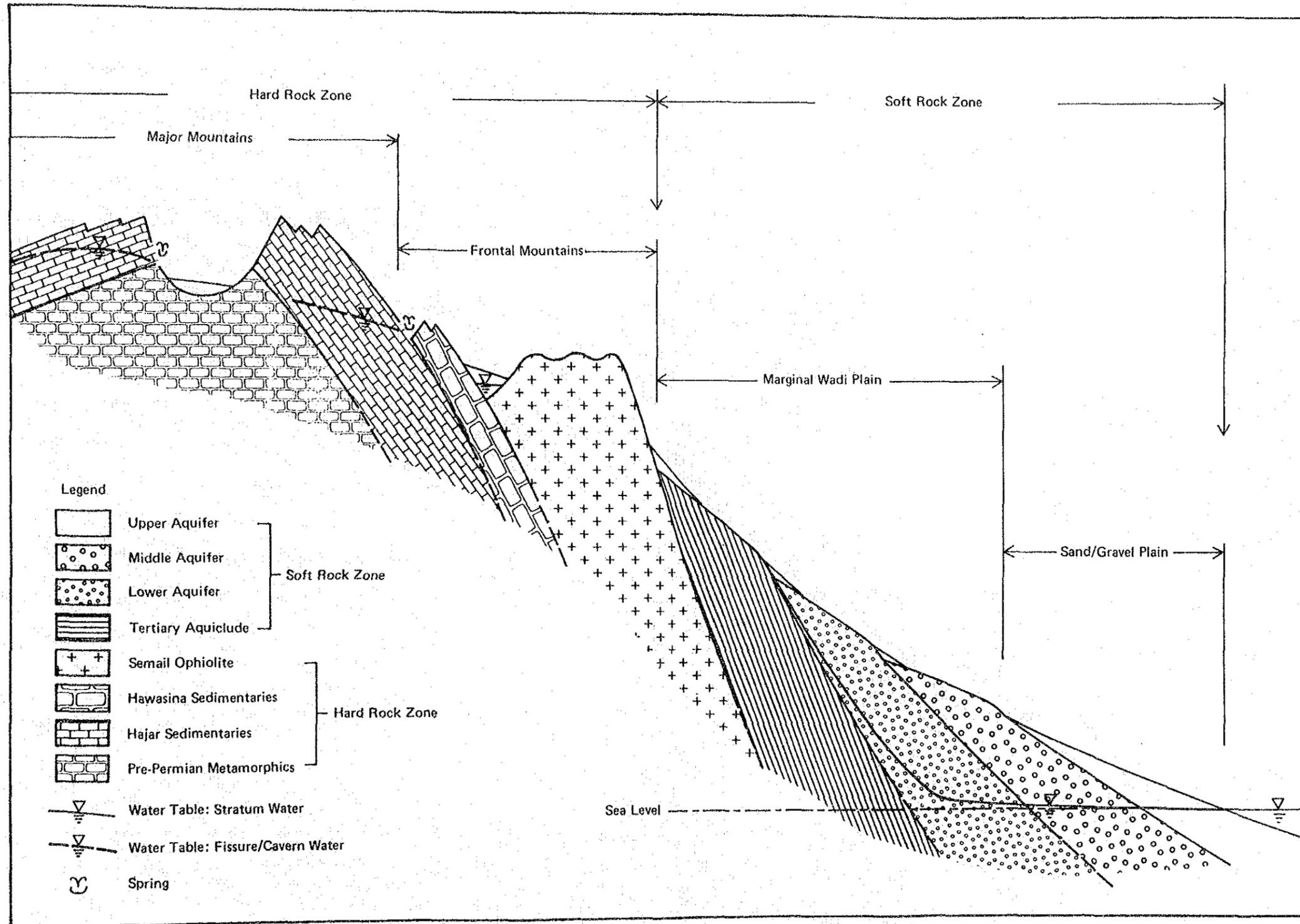
周縁ワジ平原では、その層相から推測すると多様な透水性からなる地層によって構成されている。前衛山地に臨接する上流の縁辺部では、第三紀の岩体が下位の地層にアバットし、堆積の均一性を失っている。このような地質の特徴のために、周縁ワジ平原では帯水層の広範な発達はない。

砂礫平原での地下水の賦存量は、山間部に比べてずっと豊かである。

図4-3-1には以上の状況を模式的な水理地質断面として示してある。

以下の節では、帯水層の区分、その特徴および地理的分布を説明する。

図4-3-1 パートナ・コーストの水理地質模式断面図



4. 3.2 帯水層

(1) 地下水の産状

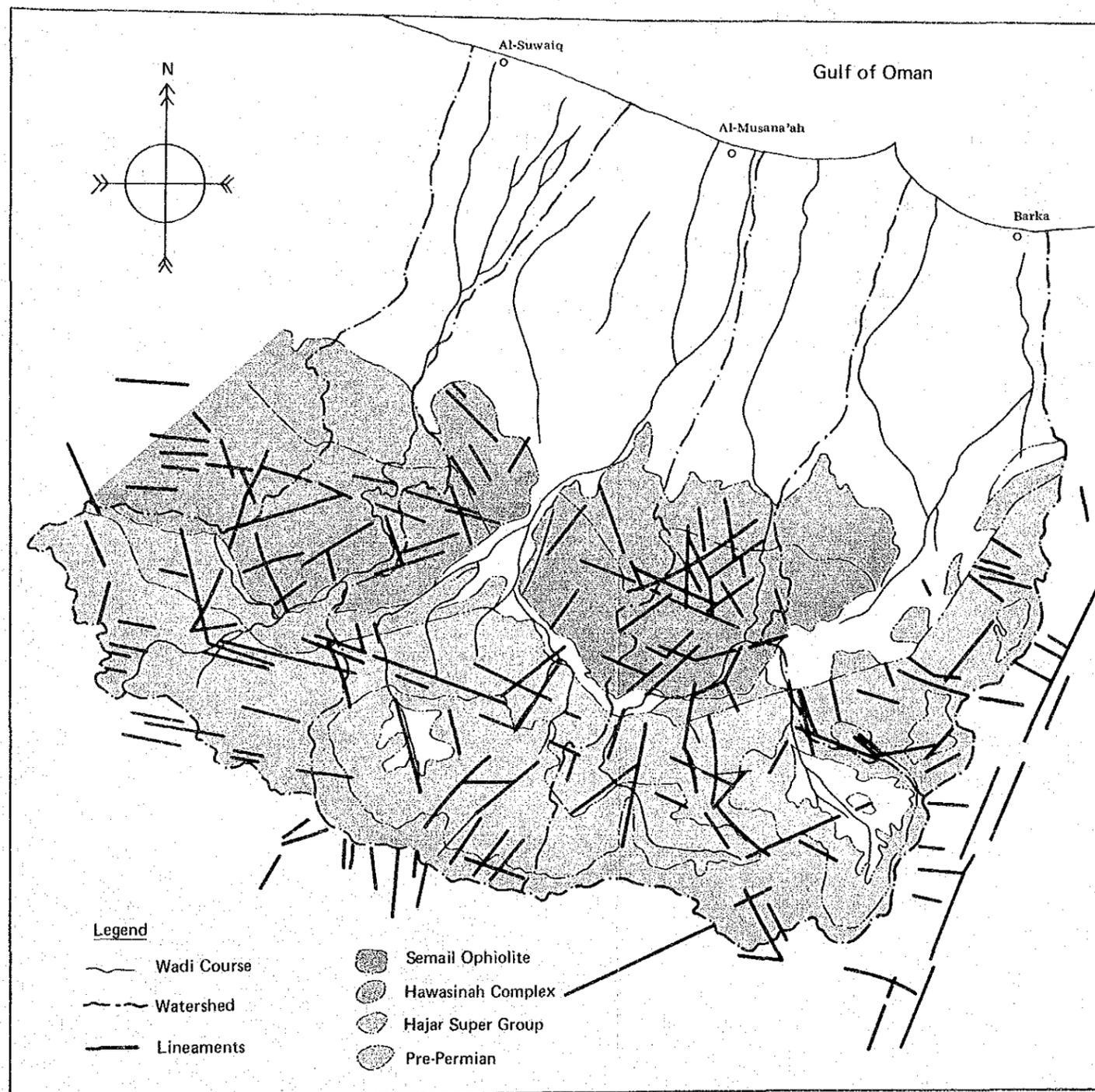
1) 裂か水および空洞水

裂か水と空洞水は硬岩地帯に存在すると考えられる。裂か水は山地の基岩地帯では構造線に沿って存在すると考えられるが、これまでのところまだ調査されていない。内陸盆地の先二疊紀の岩体には、この種の裂か水は期待できないとされている。一方内陸盆地をとり囲むハジャール累層群の苦灰質石灰岩には節理構造が広く認められ、LANDSAT の衛星画像によっても裂か帯をとまなうリニアメントがいくつも判読できる(図4-3-2)ので、ハジャール石灰岩には、これらの節理や裂か中に溶蝕孔や溶蝕洞が発達している可能性がある。有名な泉のいくつかは、こうした溶蝕洞の小規模なものから湧出していることが知られている。

ハジャール累層群の上位をなす、ハフシナ累層群とセマイル・オフィオリイト層は硬岩地帯に属する。これらの地層に有望な帯水層が存在するという徴候は今のところ見つかっていない。また、構造線沿いの裂か帯に泉が湧いている可能性はあるが、あまり多くは期待できない。

総括すると、裂か水や空洞水は硬岩地帯の帯水層として存在すると考えられるが、その規模は軟岩地帯の帯水層に比較して小さいと考えられる。

図 4-3-2 LANDSAT画像による主要なリニアメント分布図



2) 地層水

地層水は軟岩地帯の帯水層に存在する。軟岩地帯は第三紀から完新世にわたる堆積物によって構成され、海岸地帯に広く展開している。これらの一部には、古い段丘堆積物として内陸深くまで分布し、標高1,000m程度まで到達しているものがある。しかし、これらは海岸部の軟岩地帯に比較するとずっと小規模である。軟岩地帯の主要部は前衛山地下流側縁辺から海岸部に向かって広がっており、いくつかの堆積系から構成されている。

軟岩地帯で下位を構成している地層は、古第三紀の浅海成石灰岩、泥灰岩および泥岩である。この浅海成石灰岩は軟岩地帯では異端の硬岩的要素であり、ほぼ海岸線に平行して前衛山地近くに露頭している。この岩体中には地方によっては溶蝕孔が存在するが、空洞水の帯水層がどの程度発達しているかは不明である。

軟岩地帯で上位をなしている第四紀の堆積物は、沖積段丘ごとに特徴づけることができる。上位段丘の堆積物は石灰泥によって膠結された砂質礫層である。下位段丘の堆積物と沖積堆積物は膠結されていない。地層水は段丘堆積物と海岸平野の沖積堆積物中に広く存在している。上位の層位の非膠結層は地層水の帯水能力に最も優れているが、海岸に近づくにしたがい、シルト成分が増加し帯水能力が低下している。

(2) 帯水層の区分

1) 硬岩地帯（主山地、前衛山地）

前節でも触れたように、主山地内陸には先二疊紀の変成岩が露頭し、その一部には構造活動による変形や地層の乱れにともなう裂か帯が分布する。この部分に小規模な裂か水の帯水層が存在する。しかし、主山地で注目されるのは、後期古生代／中生代のハジャール石灰岩帯の帯水層である。この帯水層からは地理的に、2つのレベルからの湧泉が認められる。この2つのレベルのうち上位のものは、主山地の上流側内陸に位置し、ハジャール石灰岩層とその下位の先二疊紀の岩層の境界面に相当している。一方、下位のものは主山地の下流側縁辺に位置し、ハジャール石灰岩とその上位のハワシナ累層群の岩帯の境界に

近接している。

後者の湧泉には、かなり大規模なものが多く、ルスタークやナハルの泉は特に有名である。ルスタークとナハルの泉は、双方とも溶蝕洞や溶蝕孔から湧出し、その湧出量は長期的にも変動が小さい（図4-3-9）。これらの湧泉は、通常ファラジの水源として利用されている。また、ハジャール石灰岩帯には、節理や裂かが広範に認められるので、これにともなう裂か・溶蝕洞による帯水層が発達しているかもしれない。その場合には主山地で最も有望な帯水層が存在する可能性があるが、現時点ではその詳細は不明である。

前衛山地のハワシナ累層群とセマーイル・オフィオライト層には、有望な帯水層はほとんど期待できないと考えられている。

2) 軟岩地帯（周縁ワジ平原・砂礫原）

碎屑堆積物がこの地帯の主要な地層であり、この地層の最下位は古第三紀のものである。この岩体中の主要な帯水層は地層水からなる。この碎屑堆積層は層相や続成作用によって組織がいろいろと異なるが、大きく3つの帯水層グループに分類できる：上位帯水層、中位帯水層、下位帯水層

上位帯水層は砂層を夾在する礫層で、主として海岸平野の下流域に発達している。

中位帯水層はシルト質の礫層からなり未固結である。この帯水層は海岸平野の中流部から下流部にひろがっている。

下位帯水層は膠結した礫層や泥質礫層からなり、その分布はほぼ海岸平野の全域にわたっている。

これらの3つの主要帯水層の下位には第三紀の泥岩や泥灰岩などの細粒碎屑堆積層が存在する。この第三紀堆積岩は帯水性が貧弱で、総体として難透水層であり、この地域の地下盆水の基盤をなしていると考えられる。この第三紀層下位には地層に変形や乱れのある石灰岩層がひろがっているが、この石灰岩層中の裂かや空洞中には大きな帯水層の発達はないと考えられる。第三紀の難透水層は、海岸部に向かって深度を増し、海岸平野中央部で300m以上の深度に達するものと考えられる。しかし、海岸部、特に調査地域の東部で再び浅くな

る傾向が認められるが、詳細は明らかではない。

調査地域の帯水層の等層厚線図は、調査井の難透水層までの掘削データが少ないので作製できなかった。帯水層区分の要約は、表4-3-1に示した。各帯水層の層厚はボーリングのデータとともに電気探査のデータも参考にした。

表4-3-1 主要帯水層区分要約

帯水層	層厚	地質年代	層相	分布
上位帯水層	10~30m	完新世	シルト・砂質礫	砂礫原下流域、海岸部
中位帯水層	20~60m	更新世 新第三紀	砂質礫 泥質礫	砂礫原中・下流域
下位帯水層	>50m	古第三紀	泥質礫 膠結礫	海岸平野全域

3) 帯水層の水利特性

前述の帯水層区分中で、水利定数の測定が行われているのは、海岸部の帯水層のみである。

表4-3-3にはこれまでに調査地域内で測定されたデータを示す。これらの測定のほとんどが単井揚水試験によるものなので、貯留係数のような複数井試験によってのみ得られる特性値は、十分に掌握されていない。

図4-3-3には各帯水層とその水利定数との関係の大略を図式的に示した。各帯水層の水利定数の分布が非常に広いことが注目される。帯水層によってはその分布は、下位帯水層のように、100倍に及ぶことがある。

表4-3-2には各帯水層区分で優勢と考えられる水利定数の暫定的な分布範囲を示した。

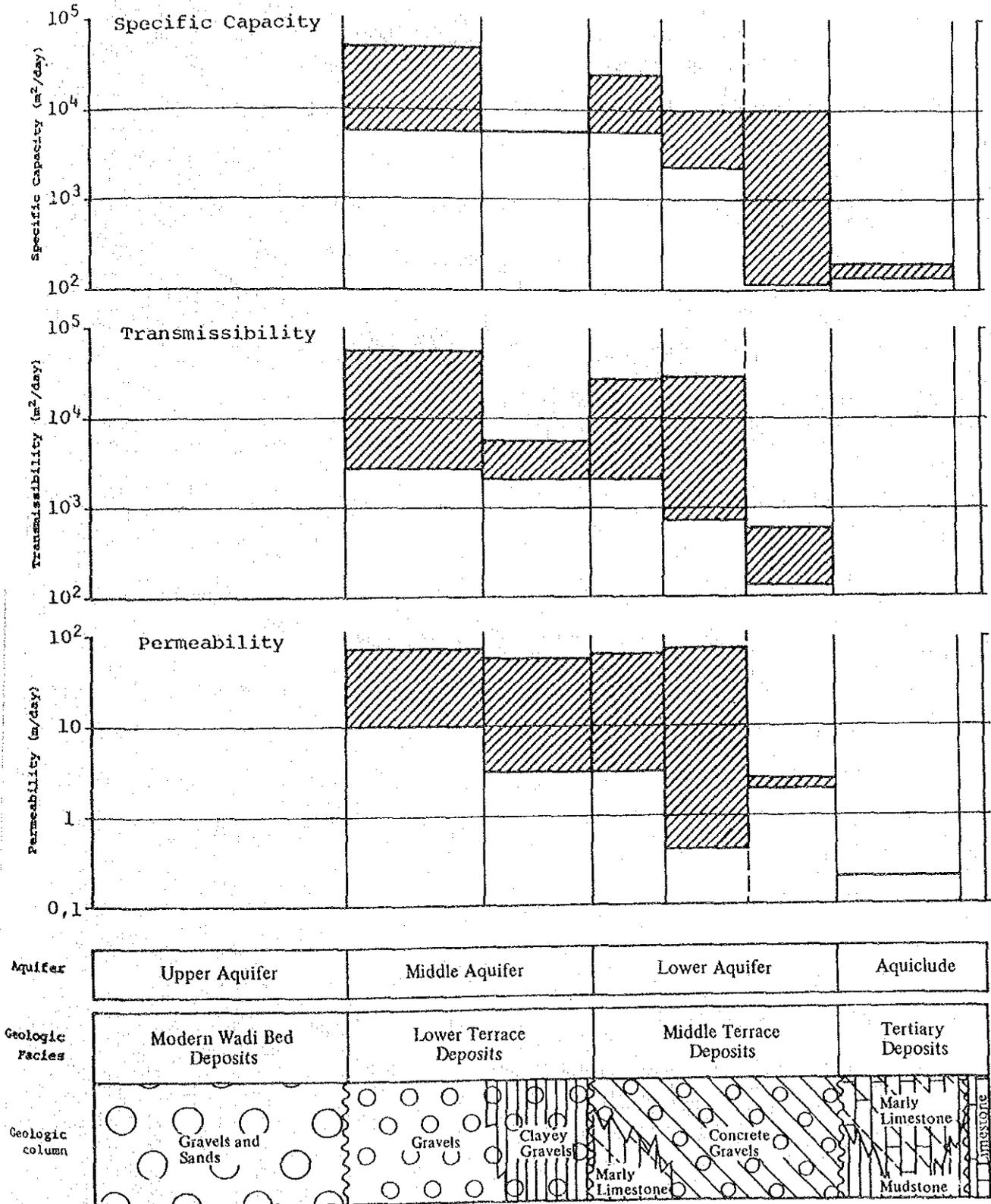
表4-3-2 主要帯水層水利定数の暫定分布域

帯水層	比湧出量 (m ³ /day)	透水量係数 (m ³ /day)	貯留係数 (%)
上位帯水層	7,000~	7,000~	2
中位帯水層	800~9,000	350~9,000	0.5
下位帯水層	100~3,000	20~1,000	0.3

表4-3-3 帯水層係数一覧表

井戸番号	比湧出量 (mf/day)	透水量係数 (mf/day)	透水量 (m/day)	貯留係数	帯水層	流域
BA 1	1,630	1,950	21	—	上位, (中位), (下位)	ワジ・アーヒン
BA 5	5,060	5,380	141	—	中位, (下位)	"
WS124	990	—	—	—	中位	"
EA 3	1,230	2,580	61	—	中下位	"
EA 4	2,170	2,760	71	—	下位	"
EA 6	30,000	2,120	56	2.1×10^{-2}	中位, (下位)	"
JT 20A	108	59	25	5.4×10^{-4}	下位	ワジ・バニ・ ガーフィル
JT 22	2,550	1,330	33	—	下位	"
ADG25	79	36	—	—	—	"
ADG26	366	168	—	—	—	"
HT 1	2,330	—	—	—	—	"
HT 2	580	—	—	—	—	"
BG 1	612	2,050	72	7.3×10^{-4}	中位	ワジ・アル・ ファラア
BG 2	3.7	0.9	0.04	—	難帯水層	"
BF 1	1,790	1,860	21	—	(上位), 中位, (下位)	"
JT 13	1,030	473	4	—	中位, (下位)	"
JT 15	1,020	468	13	—	下位	"
ADG20	183	84	—	—	—	"
JT 24	153	426	2	—	下位	ワジ・バニ・ ハルース
JT 57	562	204	7	—	中位, (下位)	"
JT 58	247	72	1	—	中下位	"
JT 67	694	220	15	—	下位	"
JT 69	533	316	3	—	中位, (下位)	"
ADG24	104	48	—	—	—	"
ADG23	333	333	—	—	—	"
JT 11	45	14	1	—	下位	"
JT 12	19	4	0.2	—	難帯水層	"
JT 23	1,190	547	10	—	下位	"
BM 1	588	—	—	—	上位, (中位), (下位)	ワジ・アル・ マアウシル
BM 3	823	269	9	—	中位	"
JT 5	12	1	0.4	—	中下位	"
ADG17	318	146	—	—	—	"

図 4-3-3 海岸部の帯水層とその水理定数



(4) 水系別の水理地質構造

各水系内での4つの地形・地質区分の占有率は表4-1-3にまとめてある。占有率は水系毎に異なるので、それにともなう水理地質的な特性の違いが、水系間に存在する。各水系の詳細な水理地質調査はまだ充分に行われていないので、帯水層の水系毎の構造の詳細を論じることは、今の段階ではできない。しかしながら、比較的多数の調査井が掘られ、また、当調査による電気探査の結果もあるので、海岸地帯では主要3帯水層に関する帯水層構造の推定が可能であった。各水系についての水理地質学的断面は補助報告書Cに掲載した。表4-3-4には各水系の海岸平野における帯水層の推定層厚がまとめてある。

表4-3-4 海岸平野部における帯水層区分ごとの推定層厚

水系 帯水層	ワジ・ アーヒン	ワジ・バニ・ ガーフィル	ワジ・アル・ ファラア	ワジ・バニ・ ハルース	ワジ・アル・ マアウィル
上位帯水層	10 m	30 m	15 m	30 m	25 m
中位帯水層	40	50	60	35	35
下位帯水層	> 80	> 100	> 100	> 50	> 100

4. 3.3 地下水の挙動

(1) 地下水位の分布

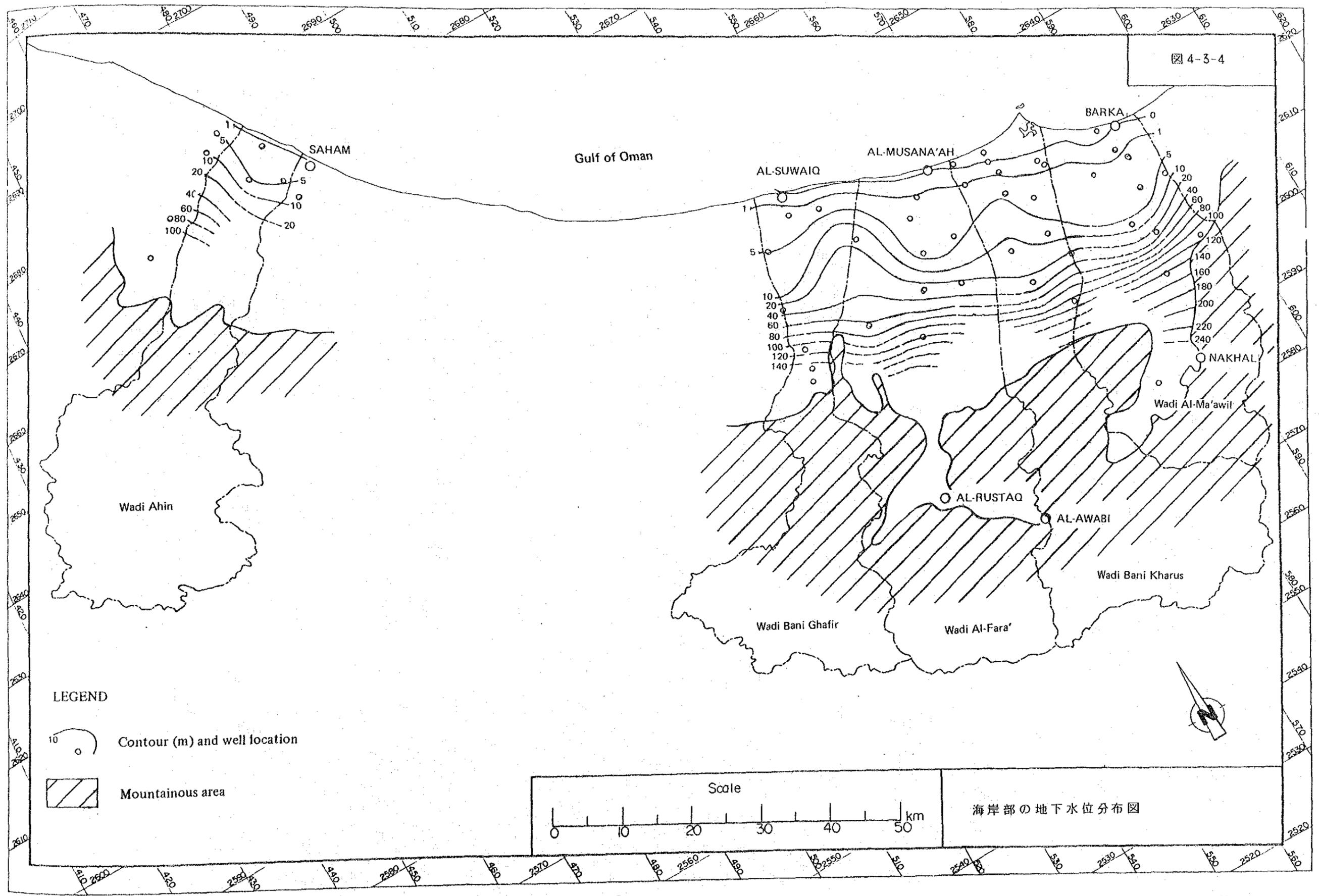
49本の観測井からなる地下水観測網を用いて1984年の平均地下水位の分布をもとめた。図4-3-4の地下水位分布図をみると、調査地域の南部の4つの水系では2つの明瞭な地下水位の尾根が認められる。このうちの西側のものはワジ・バニ・ガーフィルとワジ・アル・ファラアの流域界近くに位置し、東側のものはワジ・バニ・ハルースの主河道沿いにのびている。前者は古いワジの流路に沿っているようなので、地下水流は依然として以前の主河道に沿った流路をとっているかにみえる。この旧主河道はすでに現在の主河道沿いの洪水からは地下水涵養を直接うけているようにはみえない。この地下水流路にワジ主河道の基底流からどのような涵養が行われているかは明らかではない。これら2つの尾根によって、地表の4つの流域は地下では3つの流域に分けられていると考えられる。

地下水の動水勾配が砂礫原の中央部で急激に変化する事実は、既存の調査でも指摘されている。当計画では新規に設置された水準測量点を用いて測量を行ない、かなり正確な水位分布の形態をもとめることができた。それによると地下水の動水勾配は、砂礫原中央部から下手では $1/2,500 \sim 1/1,500$ とゆるやかであるが、上手では $1/500 \sim 1/300$ と急峻になる。下手から上手への勾配変化がかなり急激であるため、地質構造上の変化がその原因となっている可能性もある。この変曲部は第三系の難透水層が海岸に向かって深度を増し、遂に、海面と同じレベルに達したあたりに一致している（図4-3-1参照）。

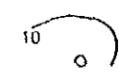
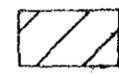
この第三系の難透水層は電気探査によっても海岸部一帯にひろく検知されており、この地層に関連する何らかの未知の地質構造がこのような動水勾配の分布を支配しているように思われる。

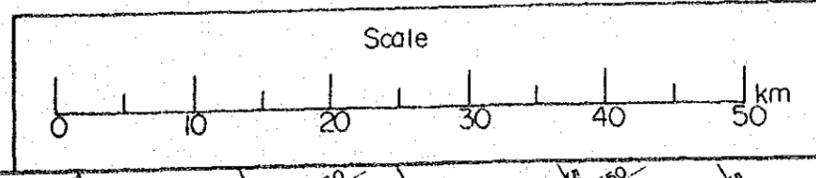
海岸近くでの動水勾配変化の詳細を明らかにするために、5流域にそれぞれ一本ずつの水準測量用のトラバース線を設定して、地表標高と地下水位標高の両者を測定した。トラバース線はワジの主河道に近く設定したので、地下水のワジ沿いの海への流去は、海岸付近の地下水位断面の形で視覚化できる。

図 4-3-4



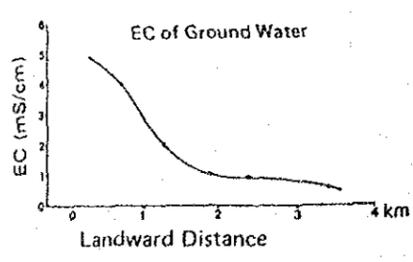
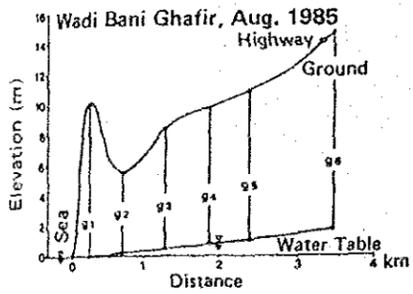
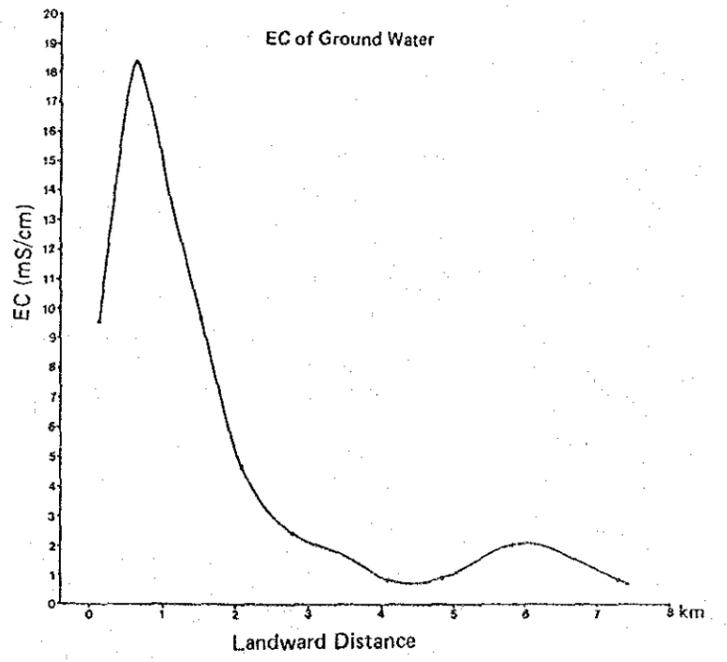
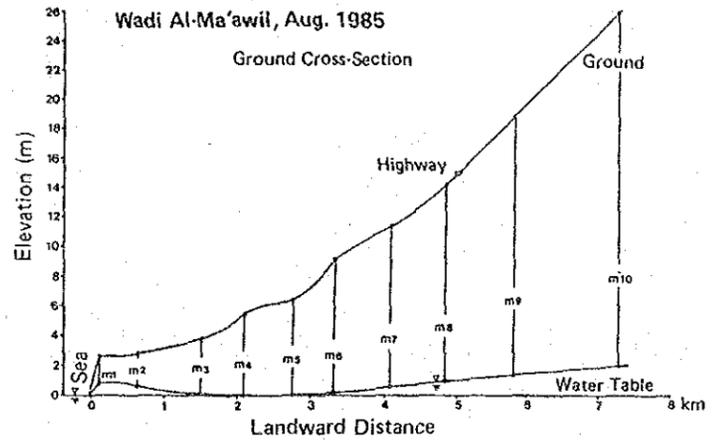
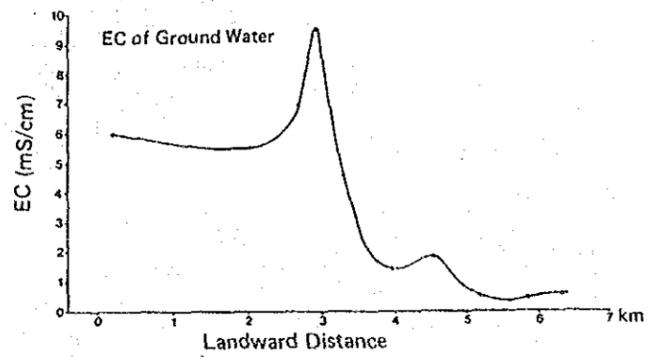
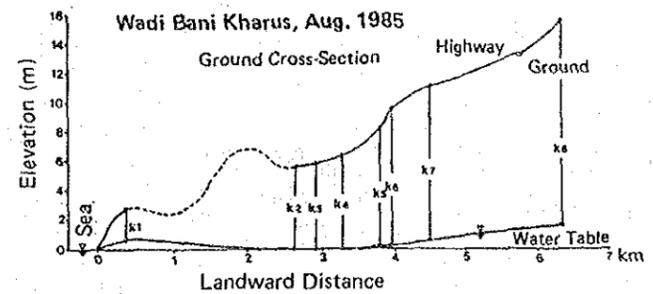
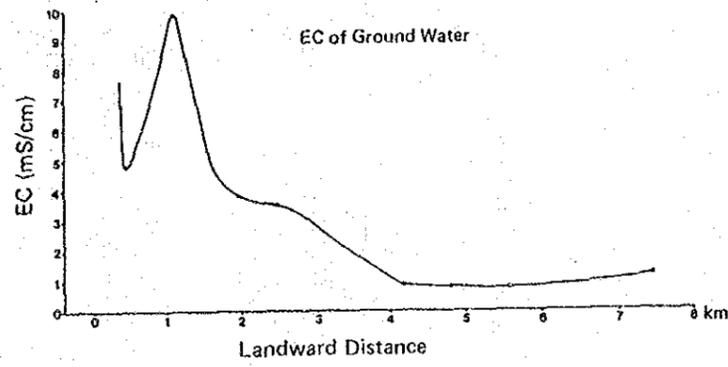
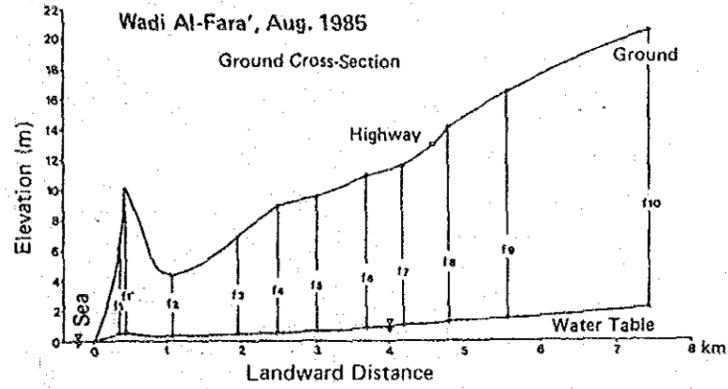
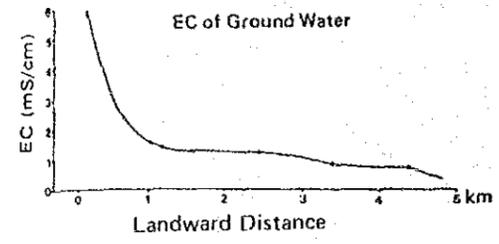
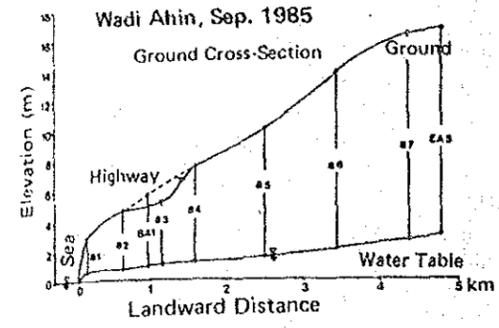
LEGEND

-  Contour (m) and well location
-  Mountainous area



海岸部の地下水位分布図

図4-3-5 海岸部の地下水位断面図



note: Locations are given in Appendix F, Hydrogeologic Map of the Batinah.

表 4-3-5 海岸部地下水縦断面データ

測 点	海岸からの距離 m	地表標高 m	地下水面標高 m	EC (25℃) ms/cm
ワジ・アーヒン				
a 1	140	2.76	0.60	5.86
a 2	650	4.46	0.74	2.35
B A 1	990	5.41	0.94	1.61
a 3	1170	5.06	1.01	1.37
a 4	1620	7.40	1.11	1.26
a 5	2520	9.86	1.42	1.21
a 6	3450	13.57	7.97	0.81
a 7	4380	16.05	2.45	0.72
E A 5	4810	16.42	2.89	0.34
ワジ・バニ・ガーフィル				
g 1	260	10.05	0.07	4.85
g 2	730	5.43	0.25	3.93
g 3	1320	8.18	0.48	1.79
g 4	1900	9.87	0.83	0.92
g 5	2410	10.89	1.21	0.85
g 6	3470	14.28	1.86	0.47
ワジ・ファアラ				
f 1	370	6.13	0.48	6.83
f 1'	440	10.04	0.54	4.83
f 2	7070	4.33	0.37	9.88
f 3	1950	6.86	0.41	3.80
f 4	2480	8.94	0.50	3.51
f 5	3050	9.59	0.64	0.91
f 6	3700	11.09	0.87	1.58
f 7	4180	11.73	1.02	0.88
f 8	4800	14.37	1.23	0.83
f 9	5580	16.76	1.50	0.77
f 10	7440	21.00	2.27	1.23
ワジ・バニ・ハルース				
k 1	390	2.77	0.67	5.90
k 2	2650	5.44	0	6.34
k 3	2910	5.72	0.02	9.55
k 4	3290	6.17	0	4.57
k 5	3790	8.04	0.14	1.61
k 6	3960	9.42	0.27	1.44
k 7	4500	10.83	0.55	1.83
k 8	6340	15.48	1.63	0.60
ワジ・マアウシル				
m 1	120	2.59	0.76	9.55
m 2	630	2.79	0.59	18.34
m 3	1530	3.74	0.14	9.60
m 4	2100	5.46	0	4.65
m 5	2760	6.41	0.02	2.43
m 6	3330	9.04	0.17	1.88
m 7	4080	11.42	0.50	0.84
m 8	4840	14.26	0.94	0.89
m 9	5820	18.84	1.47	2.05
m 10	7280	26.09	2.06	0.76

図4-3-5にはその測量結果を示す。この調査によって、5水系のうち北部のワジ・アーヒンを除き、ワジ沿いの地下水は海岸に達する前に一度最低水位となることが分かった。この水位最低地帯では地下水の電気伝導度（EC）は増大する。ECはそこから海岸に向ってまた減少するが、同時に地下水位は上昇する。地下水位は海岸砂丘地帯で極大となり、その後海に向って低下する。従って、海岸砂丘からは何らかの地下水涵養があると考えられる。涵養源としては砂丘上の降水、砂丘でせきとめられたワジの洪水、更には砂丘上の集落からの生活排水などが想定される。このような地下水位の分布は、海岸部に広く発達していると考えられるので、内陸から海に直接流去する地下水はごくわずかであると考えられる。今回の結果は、既存の調査が海岸砂丘の内側に発達するサブハ（塩湿地）の分布からひき出した推論と一致するものである。

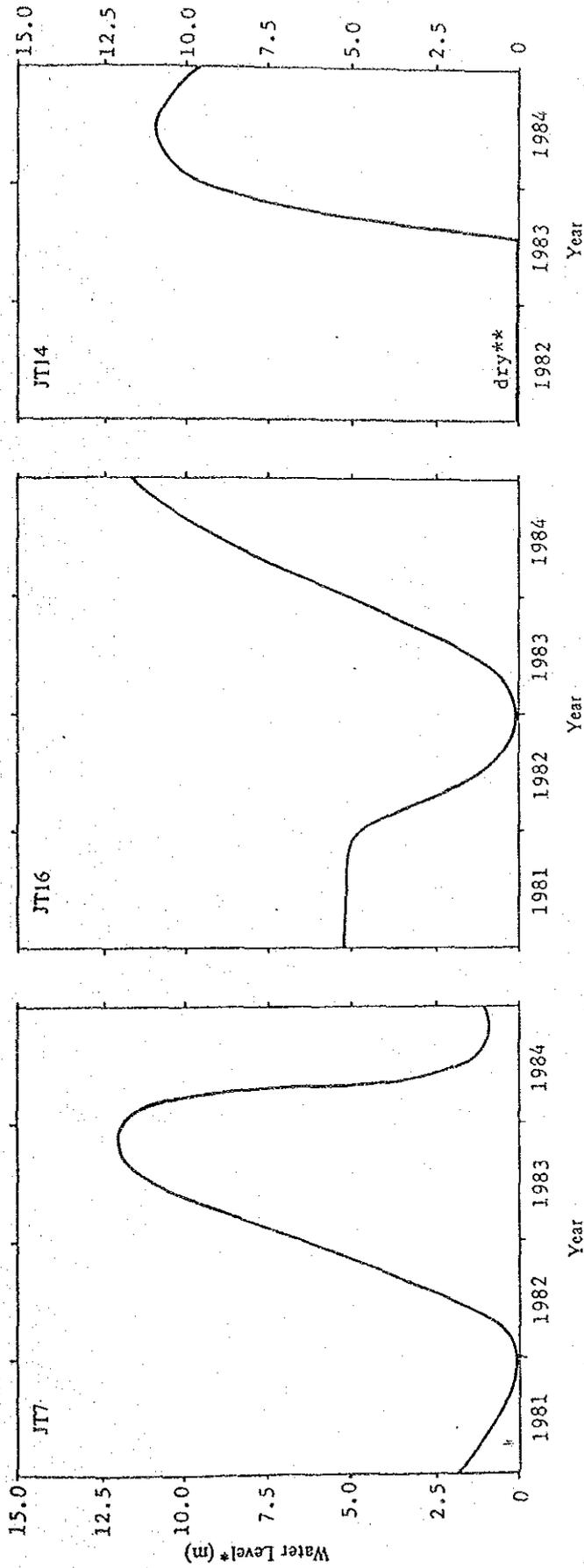
(2) 地下水位の変動

1) 地下水位の長期変動とその地域的特徴

1976年から1984年にかけての地下水のハイドログラフは、付録Fの水理地質図と補助報告書Cとに掲載した。これらのハイドログラフから2種類の変化様式が認められた。変化巾の大きい水位変化はそのひとつで、砂礫原上流部の急な地下水位勾配がひろがる地域に顕著である。一方、変化巾の小さなゆるやかな水位変化は、砂礫原下流部の地下水勾配のゆるやかな地域にひろく分布している。変化巾の大きな水位変化の場合には、この期間に一般に2回の大きな水位ピークが発生している。その各ピークは最低水位から5 m以上に及ぶものであった。更に、これらのうちいくつかは10 m以上の年変化を記録した（図4-3-6）。同図のJT14の場合は、ほぼ10年間にわたって空井戸だったものが、突然驚くべき速さで水位を増加させている。図中にあげた急激な水位変化は、どれも3ヶ月から6ヶ月の間に達成されている。JT7の場合は水位の増加も減少も同じような速さで起っているのが注目される。

ゆるやかな水位変化を示した地域は、この間に約2 mの経年的な水位減少を被っている。これは、近年急速に強化されてきた海岸部の灌漑のための揚水がその原因と考えられる。

図4-3-6 大きな変動をともなう井戸ハイドログラフ



* Increment from the lowest level
 ** Stayed dry since establishment (1974)

2) 地下水位の年間増減とその長期変動

図4-3-7は地下水位の年間増減量の分布図である。

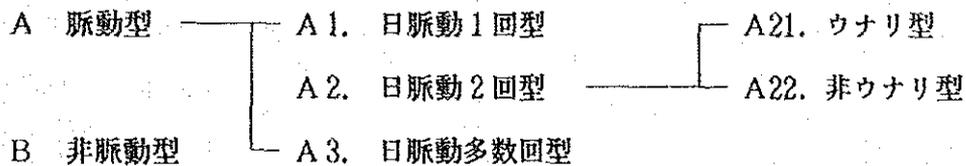
この図には、今回の JICA (1984) の結果とともに Gibb (1974) の結果も比較として載せてある。JICA (1984) には、2ヶ所の年間増加地帯が認められるが、その位置はほぼ前節で述べた地下水位の尾根の位置と一致している。

Gibb (1974) では2ヶ所の増加帯の存在は明確ではないが、分布の傾向はよく似ている。年間増加量は、1984年の方が1974年より大きい。また、海岸部ではかならずしも全般的に一様な水位低下が起っているわけではない。

3) 自記記録から判明した井戸水位の日変化

20台の自記水位計が観測井に設置されているが、そのハイドログラフにはいくつかの興味深い変化パターンが認められた。図4-3-8(1)には代表的な6つの例が示されている。これらの変動タイプの暫定的な分類を表4-3-6にあげてある。

表4-3-6 井戸ハイドログラフの分類



ハイドログラフのタイプ	A				B
	A 1	A 2		A 3	
		A 21	A 22		
観測井 ナンバー	JT 69 JT 19	EA 5 JT 10 JT 12 JT 15	JT 22 JT 67 ADG 17* ADG 23*	BA 1	BM 1 BF 1 BG 1 JT 9 JT 17 JT 25 JT 52 JT 56 (ADG 17)

*非対称型脈動

最初の大分類としてハイドログラフは脈動型 (A) と非脈動型 (B) に分けられる。脈動型は更に日脈動1回型 (A1), 日脈動2回型 (A2), 日脈動多数回型 (A3) に分けられ、日脈動2回型はウナリ型 (A21) と非ウナリ型 (A22) に細分される。脈動型は、脈動波形の対称なものと同非対称なものに分けられるが、ここでは初歩的な分類なので、このような差異は考えないことにする。

20ヶ所のハイドログラフのうち、9ヶ所は非脈動形 (B) であった。残ったハイドログラフのうち8ヶ所は日脈動2回形 (A2) で、ウナリ形 (A21) と非ウナリ形 (A22) がそれぞれ同数であった。非ウナリ形 (A22) の ADG 17は観測している間に非脈動形に変化したが、その詳細は後述する。

脈動の原因は明らかではないが、日脈動2回形は地球潮汐力に影響された井戸ハイドログラフ (Nilsson, L.Y., 1965, Tellus, Vol. XVII, pp403-404) との類似性がある。特にウナリ型は地球潮汐力によるハイドログラフと酷似し、ウナリ現象は月齢変化とよく一致している。日脈動2回型は周辺の農地の地下水揚水が1日2回あることから説明付けられるが、地下水揚水に敏感な井戸は、BA1のように、多数のハイドログラフのピークによって周辺の揚水に応答する場合が多い。この種の現象を理解するためには更に多くの自記観測点が必要である。

すでに触れたように、ADG 17 観測井はA21タイプから非脈動型であるBタイプに変化した。その詳細は図4-3-8(2)に示してある。ADG 17 と ADG 23はその立地もハイドログラフもよく似た井戸なので、図4-3-8(2)ではこの2井のハイドログラフを同時に追跡してある。ADG 17 の場合は地下水位が低下するに従い脈動が消えていったが、ADG 23 の場合はそのようなことはなかった。しかしながら、ADG 17 はイスラムの祭日 (Idd) がつづき揚水が止められると水位が回復し、水位が回復すると、再び脈動を起こすことが認められた。このようにして、ADG 17 では地下水位が上がり静水圧が増すと、脈動が顕著になると理解することができる。これは、ADG 17 が被圧帯水層に掘削されており、この帯水層には更に別の被圧帯水層から地下水の注入が行われ

図 4-3-8(1) 自記ハイドログラフの代表的なパターン

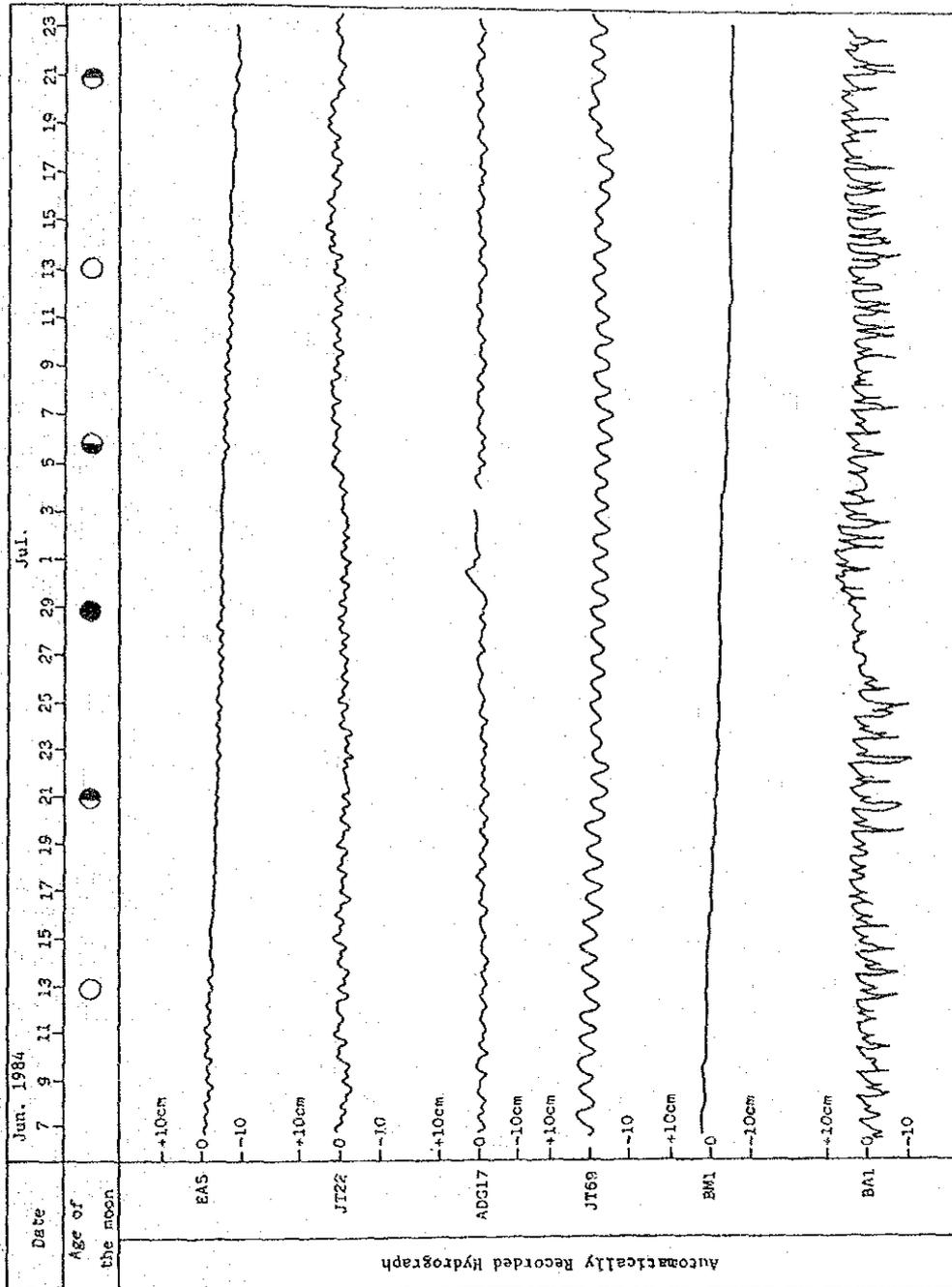
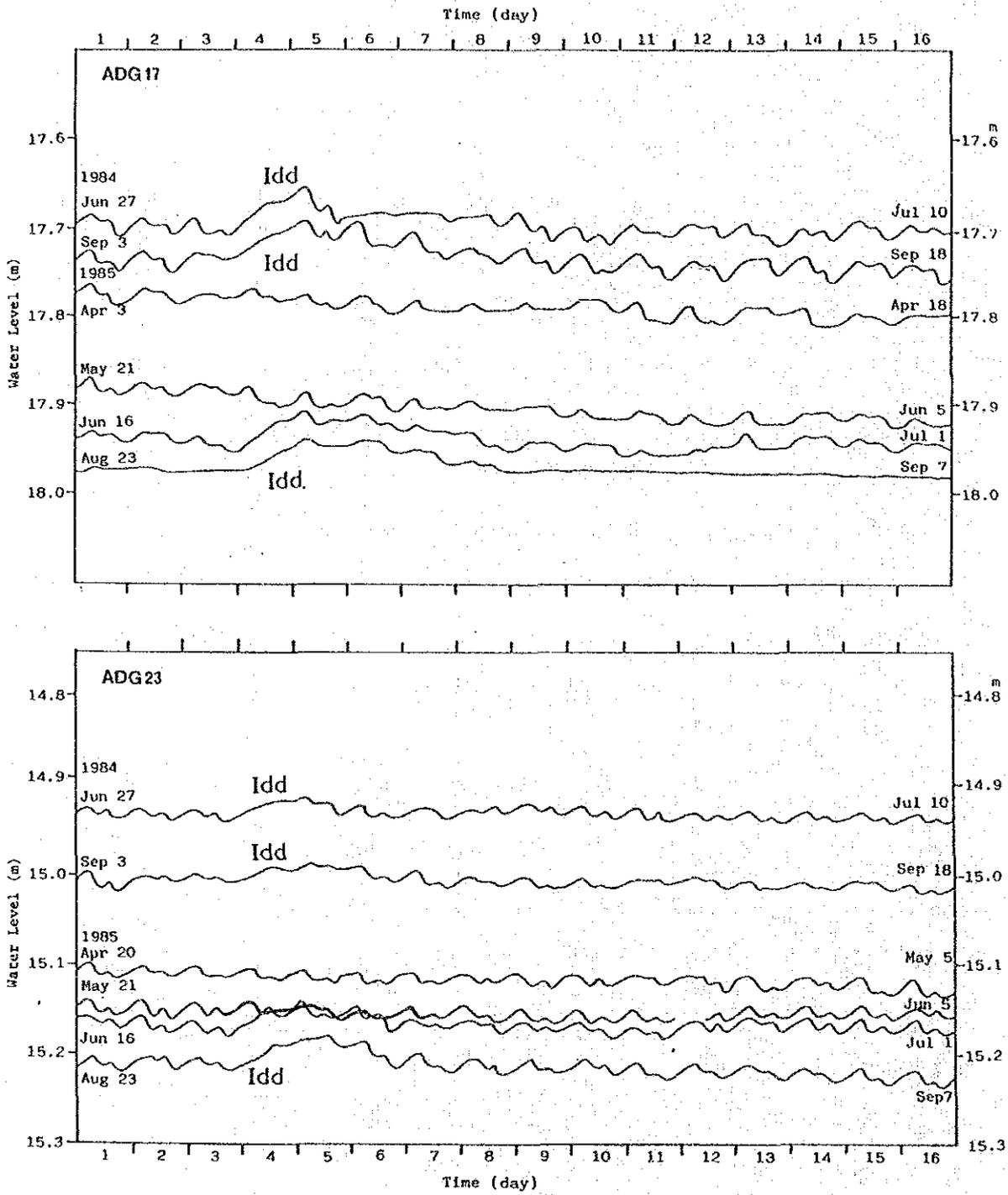


図 4-3-8(2) ADG17とADG23のハイドログラフ



ているためと考えることができる。この地下水注入は、地球潮汐力によって強弱のリズムがとられているのかもしれない。ADG 23 の場合には、まだ十分な被圧度があるため脈動も維持されていると考えることができる。

4) ファラジ流出量の変化

ファラジの水源は多様である。従ってファラジの流量の変動を観測することによって、その水源の水理地質学的性質が明らかになることがある。

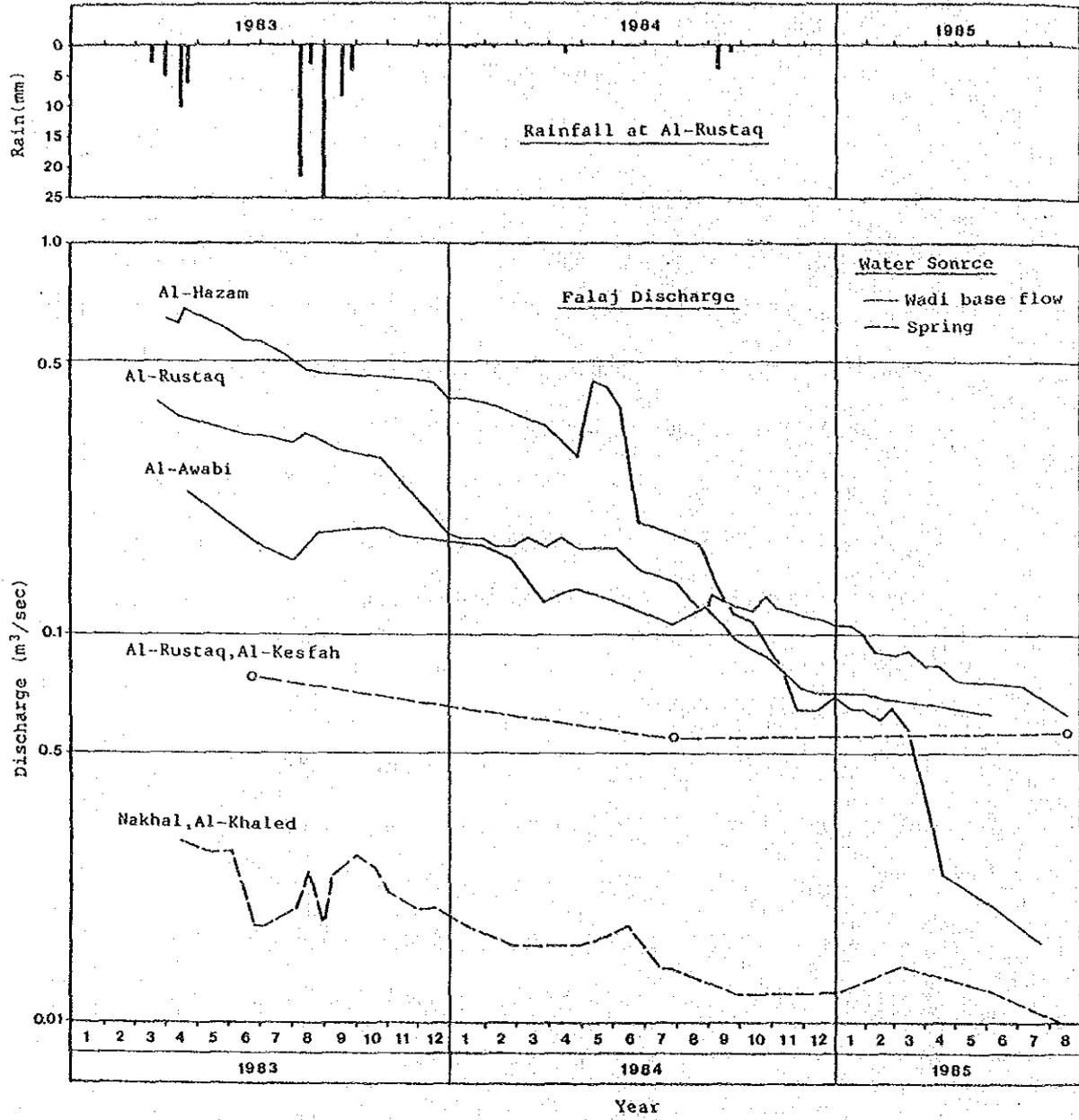
図4-3-9はいくつかのファラジの長期にわたる流量の変化を示している。これらのファラジの水源は泉とワジの基底流である。この図に登場するファラジの流量は全般的に遞減していく傾向がある。ワジの基底流を水源とするファラジは、1983年-1984年の期間にほぼ流量が1/10になってしまったが、泉を水源とするファラジは、その流量の減少がずっとゆるやかであり、流量にほとんど変化のないものも存在する。泉を水源とするファラジは、山間部の石灰岩中に発達した大きな地下水源から流出しているのかもしれない。一方、ワジの基底流を水源とするファラジは、流量が大きいだけでなくその変動も大きい。これは、ワジの河道沿いの地下水帯水層が、流量は大きいが貯留量は小さいことを意味している。

5) 地下水中の塩水境界

海岸部においては、帯水層の勢いはその塩水境界の深度に反映されている。帯水層の淡水部が縮小し、透水量が減少すると塩水境界は急激な上昇を開始する。近年の海岸部の農地開拓によって、海岸部の地下水はこれまでにないほど強力な揚水をうけている。その結果、地下水淡水部の深度が減り、塩水混入の被害をうける危険が高まってきている。塩水境界の移動傾向を検知するために塩水化の水平・垂直方向の長期変動を調査した。

水平的な塩水化の動向をみるために、海岸部の浅い地下水のEC分布の長期変動をGibb (1976) とMAF (1983) の調査結果を用いて検討した。検討を行った地域は、調査地域の中央にあるスワディ周辺である。図4-3-10(1)~(2)がその解析図である。図4-3-10(1)では、2つの調査時期の間の $5,000\mu\text{s}/\text{cm}$ 等値線の移動が示されている。 $5,000\mu\text{s}/\text{cm}$ 等値線は、塩水混入の示標と

図 4-3-9 フェラジ水量とその変化図



してよく用いられている。新旧2本の等値線は互いに数ヶ所で交差しており、塩水化が全体的に進んでいるという様相ではない。図4-3-10(2)には同一地点のEC値の増減を示した。総じてEC値の変化は、増加の中が減少の中より大きいことが分る。増加中は新旧で+6,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ に達している場合があるが減少中は-2,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 程度でしかない。結論として、この10年ほどの間に塩水化が内陸に向かって大巾に進展していることはないが、特定の地域でのEC増加に急激なものが認められる。

海岸部の地下水中の塩水境界深度の動きをとらえるために、既設の塩水化観測井DW3とDW4のEC深度分布を測定した。これをGibb(1976)と比較したのが図4-3-11である。今回(1985)と前回(1976)の間にはEC値にかなりの違いがあるが、その深度分布の形態には本質的な差異はなく塩水境界も新旧同じ深度に存在していることが分った。

一方、調査計画で新規に掘削した3本の塩水化観測井の14ヶ月にわたる観測結果のまとめが、図4-3-12(1)~(3)に示してある。これらの井戸は、ワジ・アーヒンのBA1、ワジ・アル・ファラアのBF1、ワジ・アル・マアウィルのBM1で、それぞれ掘削深度は100mである。毎月1回のECと水温の深度分布観測を井戸開設の時点からつづけた結果、これらの3井はそれぞれ独自のEC・水温分布と水位変動を示すことが分った。3井のうちBA1のみが活動的な海水楔を貫いている、それは、地下水レベルと塩水境界レベルの変動の相関係数が、 $r = -0.885$ であることから明らかである。また、BA1の塩水境界はこの期間に0.734m/年で上昇した。

図 4-3-10 (1) 海岸部浅井戸による 5000 μ S/cm、EC 等値線長期変動図
(1975, 1983 年)

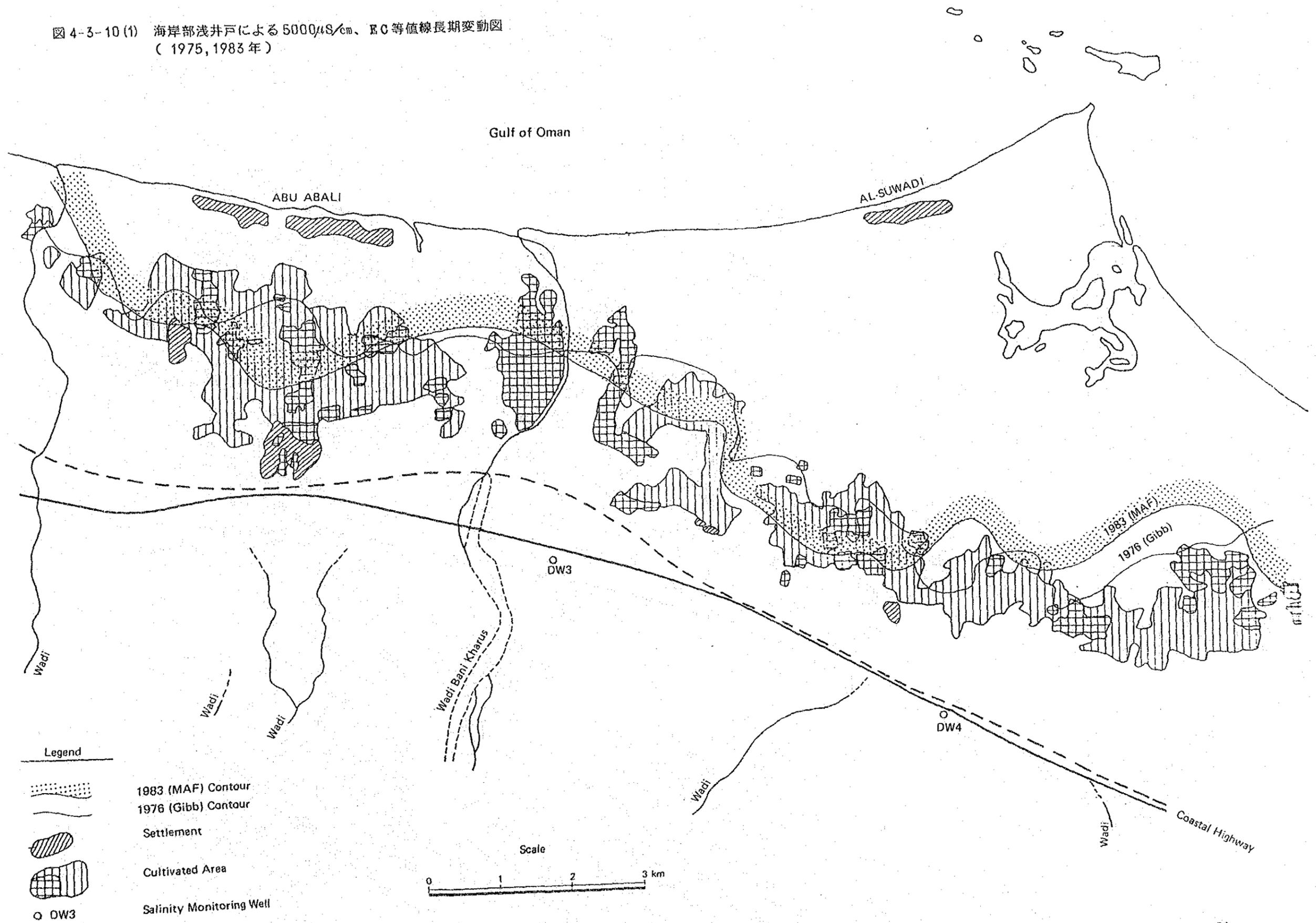


図4-3-10(2) 海岸部浅井戸によるEC値長期変動図
 (ΔL = L1983 - L1975)

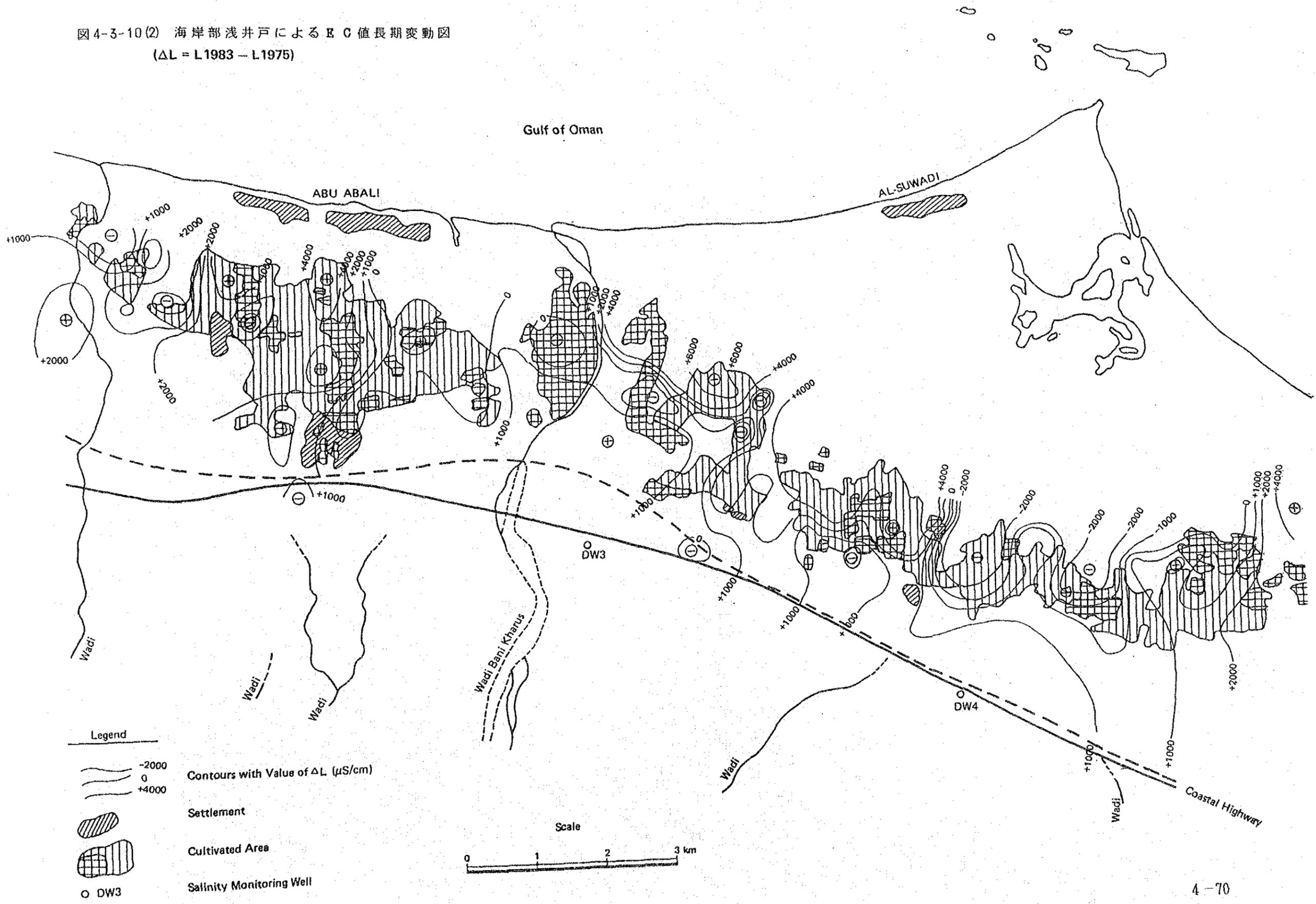


図 4-3-11 DW3, DW4 の EC 垂直分布経時比較図

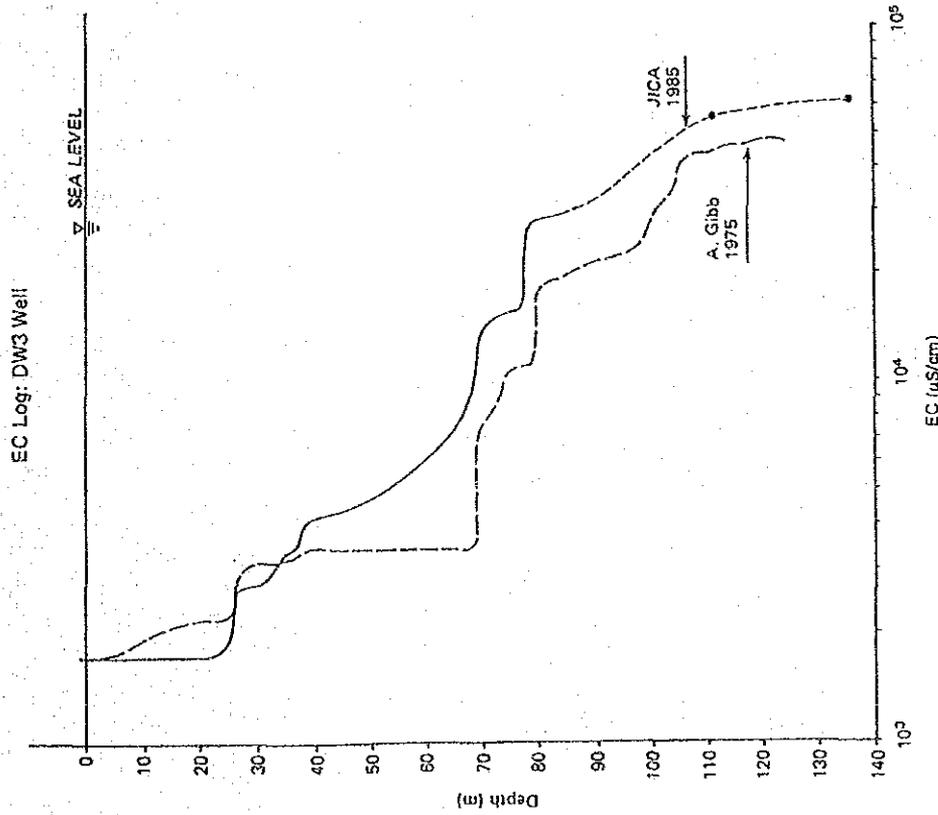
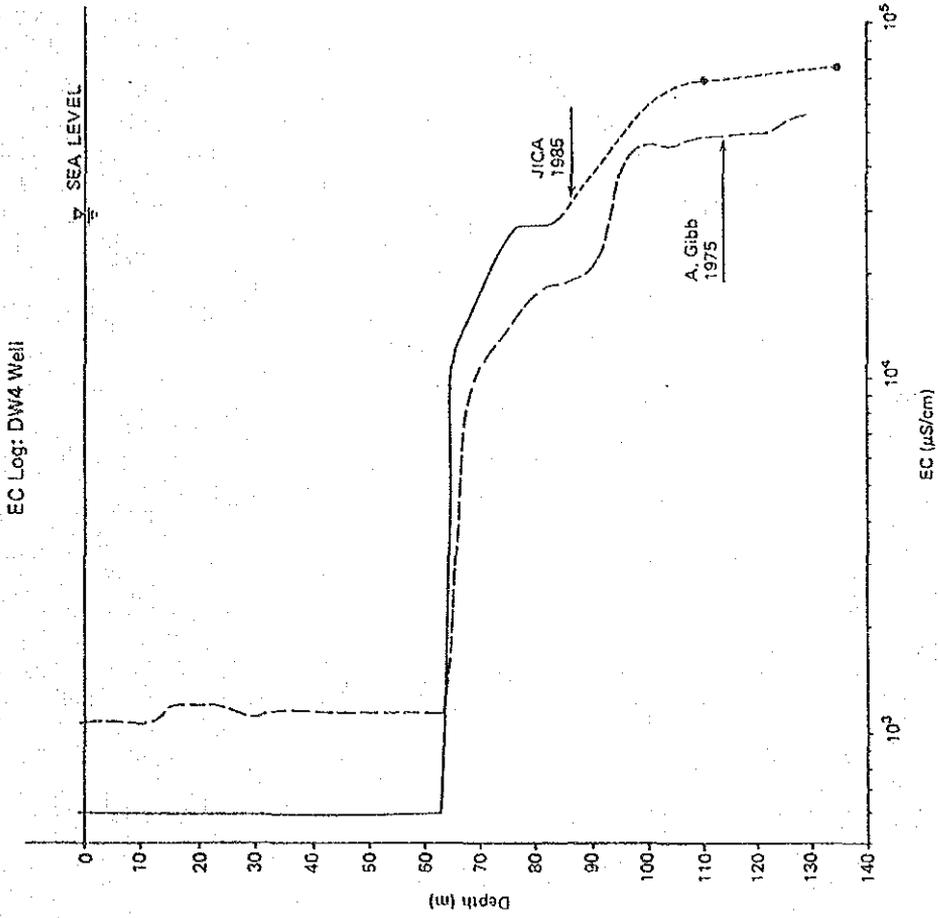
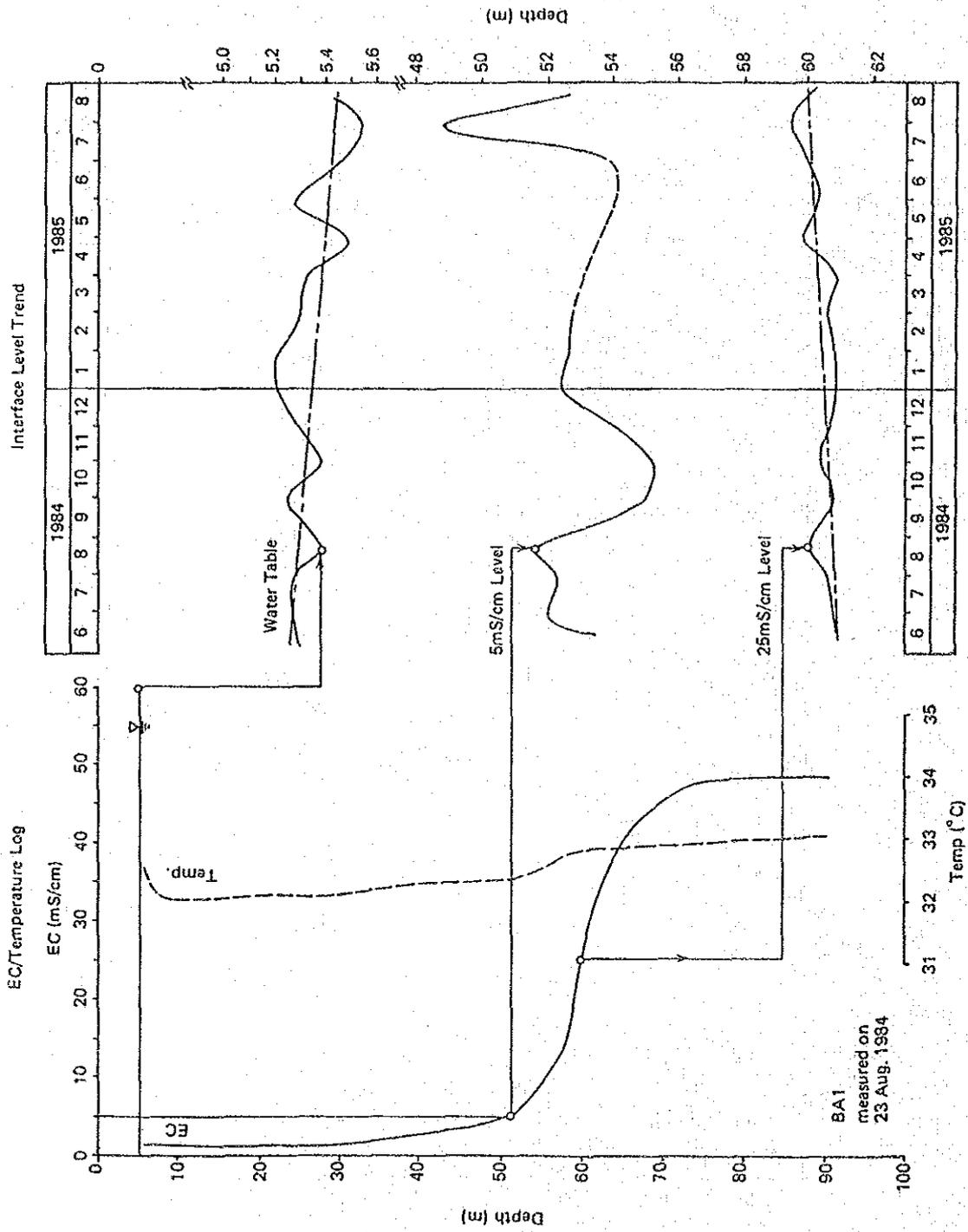
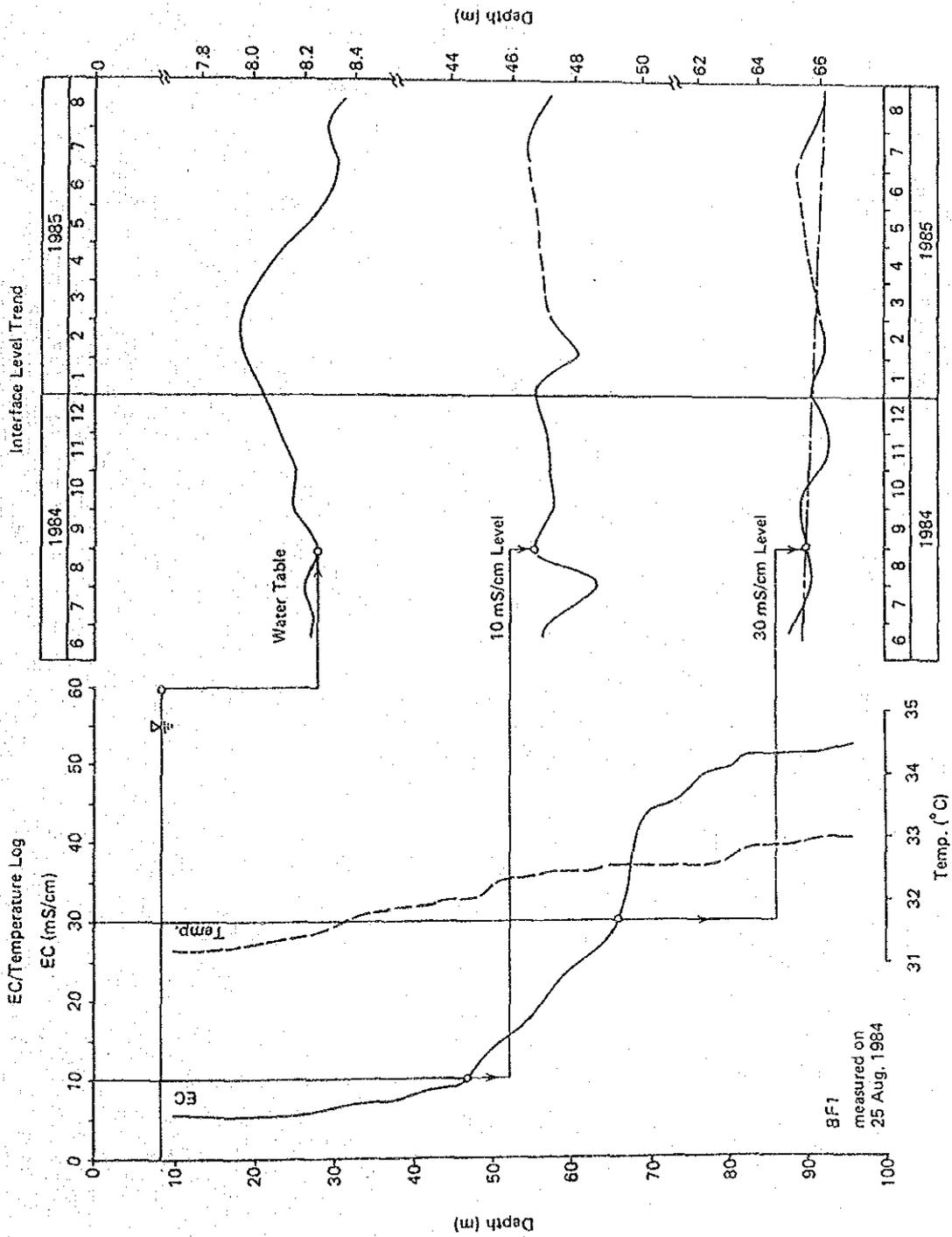


図 4-3-12 (1) 塩水化観測井の定期測定結果 (BA1)



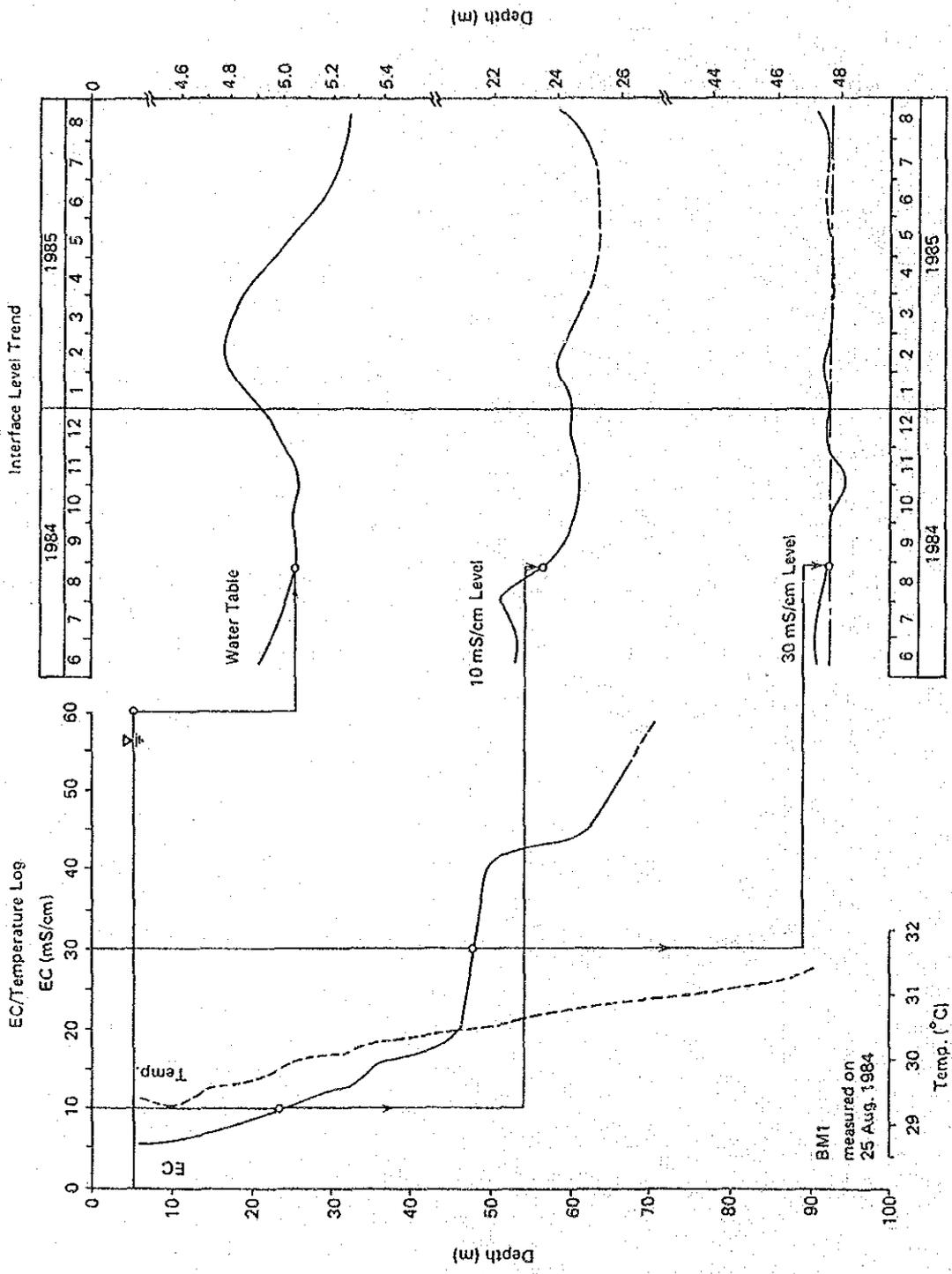
BA1
measured on
23 Aug. 1984

図 4-3-12 (2) 塩水化観測井の定期測定結果 (BF1)



BF1
measured on
25 Aug. 1984

図 4-3-12 (3) 塩水化観測井の定期測定結果 (BM1)



4. 4 地下水

4. 4.1 地下水の概要

当調査地域の地下水は、(1)主山地の山稜を構成する石灰岩からの小規模な泉水、(2)主山地と前衛山地の境界の石灰岩帯から湧出する比較的大きな温泉性の泉水、(3)ワジ（瀬河）の河道堆積物中の浅い地下水、(4)前衛山地のオフィオライトに稀に湧出する泉水、(5)砂礫原の深い地下水、および(6)海岸部の浅い地下水に分類できる。

以上の地下水区分について水質の特徴を調査した。調査した項目は以下の通りである。

1. 地下水温
2. 地下水電気伝導度 (EC)
3. pH
4. イオン組成
5. 重水素 (D) , 重酸素 (^{18}O) 組成
6. 三重水素 (T) 含有量
7. 温泉ガス組成

これらの測定結果の詳細は補助報告書Dに掲載した。

ここでは、測定結果の解析から確認できる地下水の動きやその起源の特徴について述べる。

山岳地を控えた乾燥地では、一般に次のような水循環のモデルを考えることが多い。すなわち、平地より圧倒的に優勢な山岳地での降水が、降水域である上流側で地下の循環系に入り、地下水として流下して海岸平野に至り、そこから海へ流去するというモデルである。このモデルでは、地下水涵養は上流の特定の地域で起こり、下流側には有力な涵養地域がないとする。従って地下水は山岳地から海岸に向かって一方的な水質の変化をすると想定される。

当調査の結果は、上記のような単純な循環系を支持するものではなかった。涵養は、むしろ大きなシステムとして、地理的に二つの地帯で起こっていると考えられる。

一つは、砂礫原の上端もしくは山岳部であるが、もう一つは海岸に極く近い沖積地帯である。

海岸平野を広く占める砂礫原は、前節4.2でも報告されているように、意外に表面での浸透性が悪く、ワジの河道沿いですら地下水の涵養に役立つような浸透は起こらないと考えられた。このため、山岳部もしくは山麓部で浸透した地下水は、地表からの新たな浸透から隔離されたまま海岸部に到達するものと推定され、分析結果もこれを支持している。

地下水帯に浸透することもなく砂礫原の大部分を流れてきた洪水は、海岸近くの末固結の若い堆積層に至って、ようやく浸透をはじめ。これが、第2の地下水涵養である。

上流側の涵養域を正確に決めることは、今の段階ではできないが、主山地のハジャール石灰岩帯と前衛山地をとりまく古第三紀の堆積岩帯が、可能性として考えられる。下流側の涵養域は、砂礫原が粗粒の層相から細粒の層相に変る変り目の地域に存在すると推定される。

以下に続く各項では、それぞれの測定項目の解析結果の特徴にもとずいて、地下水の運動とその起源を考察する。

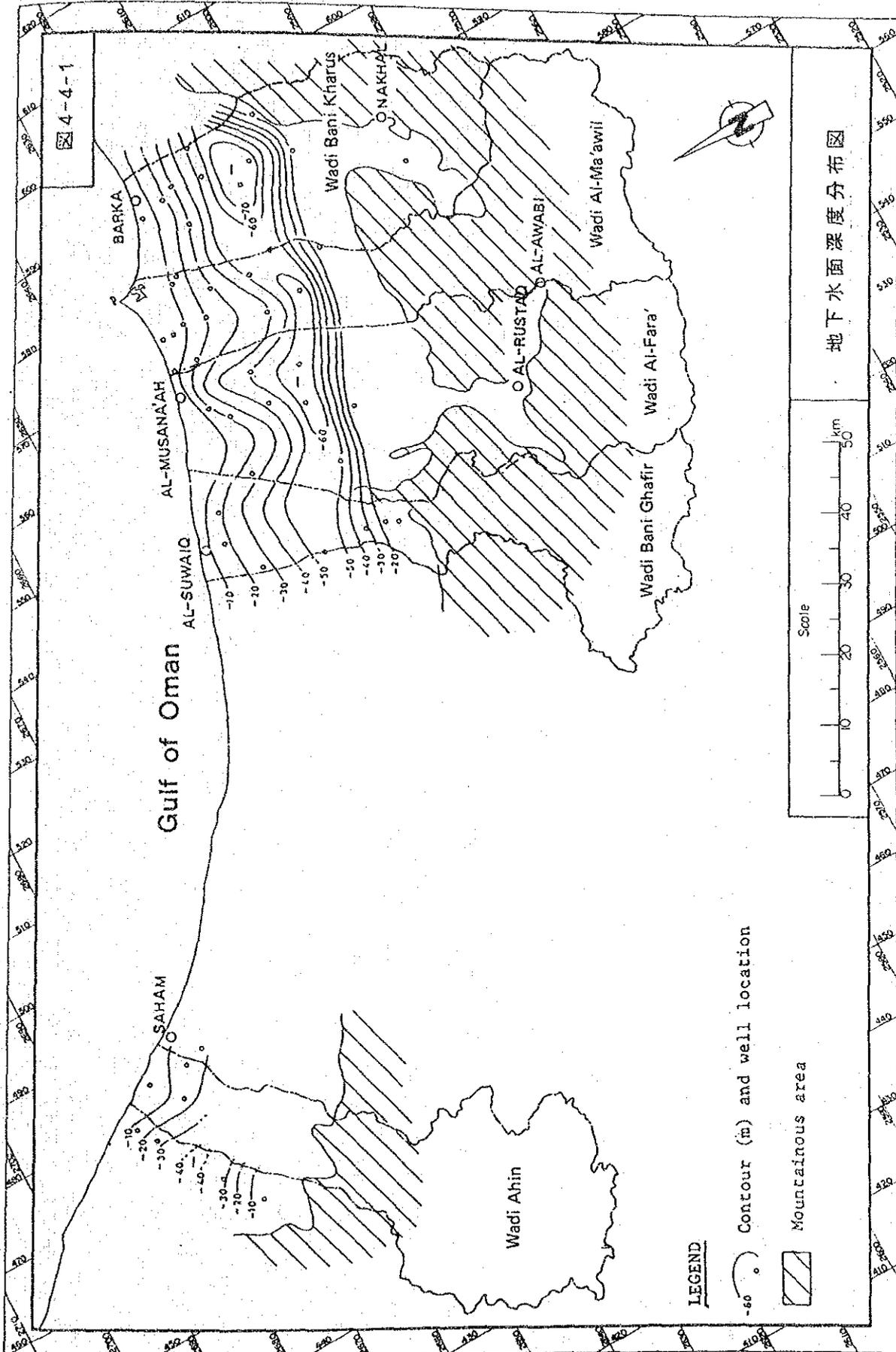
4. 4.2 地下水温

1983年の調査では比較的短期間に一連の地下水の採水と水質の測定を行った。この時行った水温の測定を分布図としたのが図4-4-2である。

この分布図によると、温度極大が砂礫原中央部の2ヶ所に現われている。

この極大部は図4-4-1の地下水面最深部に重なっている。

このような平面的分布の特徴に加えて、水温と水面深度の関係にも興味ある側面が認められた。図4-4-3は地下水温と地下水面深度のグラフである。このグラフは3種類の井戸グループに分れることが分る。第1のグループは海岸から3国道あたりまで分布する浅井戸である。第2グループは砂礫原中央部の水温の極大地域の井戸であり、第3グループは第2のグループ上手から前衛山地までに存在する井戸である。



地下水深度分布图

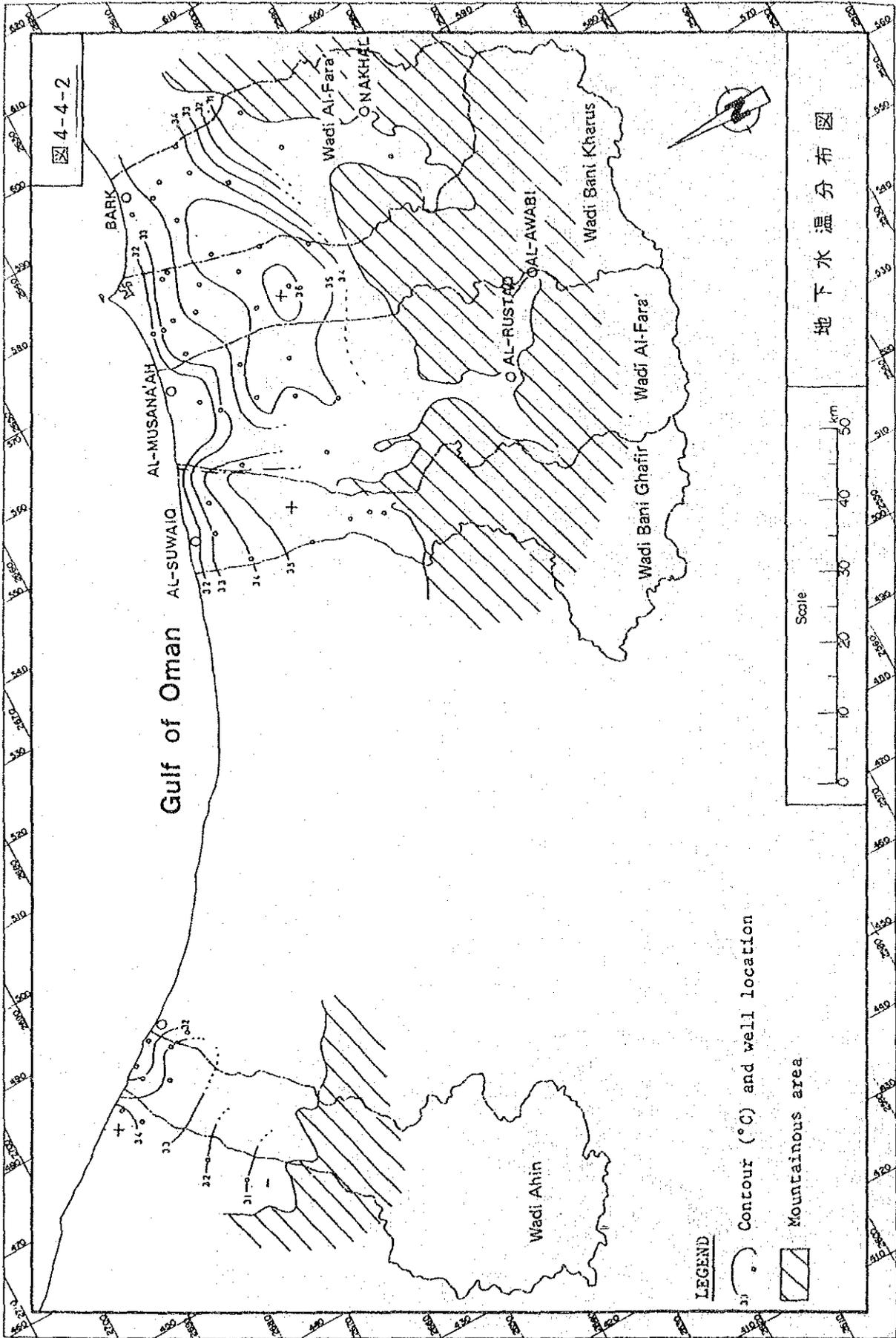
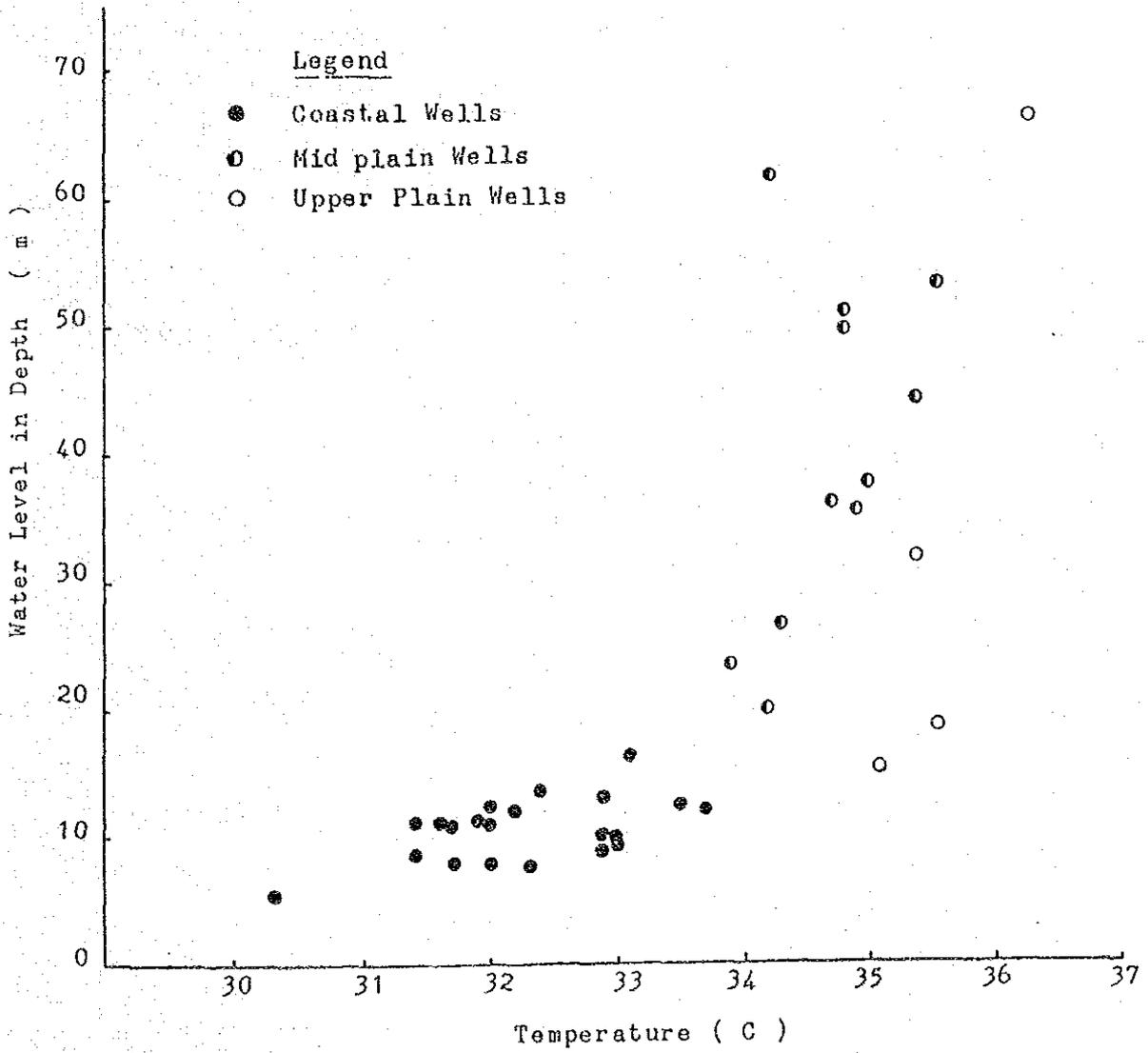


图 4-4-3 地下水温・地下水面深度相関図



第1のグループは温度と深度の相関が比較的明瞭であるとともに、温度上昇率
がかなり大きい。上昇率は $40^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ にも達する。

一方第2、3のグループは、水温に対する深度のばらつきが大きく、水温それ
自身も高く、この地方の年平均気温を 5°C 以上上まわっていると考えられる。

第3のグループは第2のグループよりも高い温度領域を占めている。

各観測点はそれぞれ異なる井戸を用いたものなので、通常の地温勾配と同列に論
ずる訳にはゆかない。沿岸部での大きな水温上昇率は、地温勾配を示すのではな
く、地下水の流れによる熱の輸送を示すものと考えられる。

しかしながら、砂礫原中央部の特異な水温/温度分布の変化は、この付近の各
所に高い温度の水塊が湧昇していることを暗示しているように思われる。

4. 4.3 地下水電気伝導度 (EC)

前記の地下水温の測定と平行して電気伝導度の測定も行った。この測定値の地
域分布を図4-4-4に示した。

ECは地下水のイオン組成や濃度や温度によって決定されるものであるが、お
たがいによく似たイオン組成や環境にある地下水の場合は、イオン濃度あるいは、
塩分濃度の目安として用いることが出来る。

この図で注目されるのは、地下水ECが単に内陸から海岸に向かって増加しない
ことである。ECの最低値は砂礫原の中央部に現われ、その極小域は水温の分布
に似て2ヶ所存在する。

砂礫原中央部は地下水の塩分濃度のめんからみても特異的な地域であることが
分る。

4. 4.4 地下水のイオン組成

オマーン農漁業省ルメイス農業試験場の協力を得て、約200本の水試料の化
学分析を行うことが出来た。分析したイオン種は陽イオンとして、ナトリウム
(Na^+)、カリウム (K^+)、カルシウム (Ca^{++})、マグネシウム (Mg^{++})。
陰イオンとして重炭酸 (HCO_3^-)、炭酸 (CO_3^{--})、塩素 (Cl^-)、硫酸 (SO_4^{--})

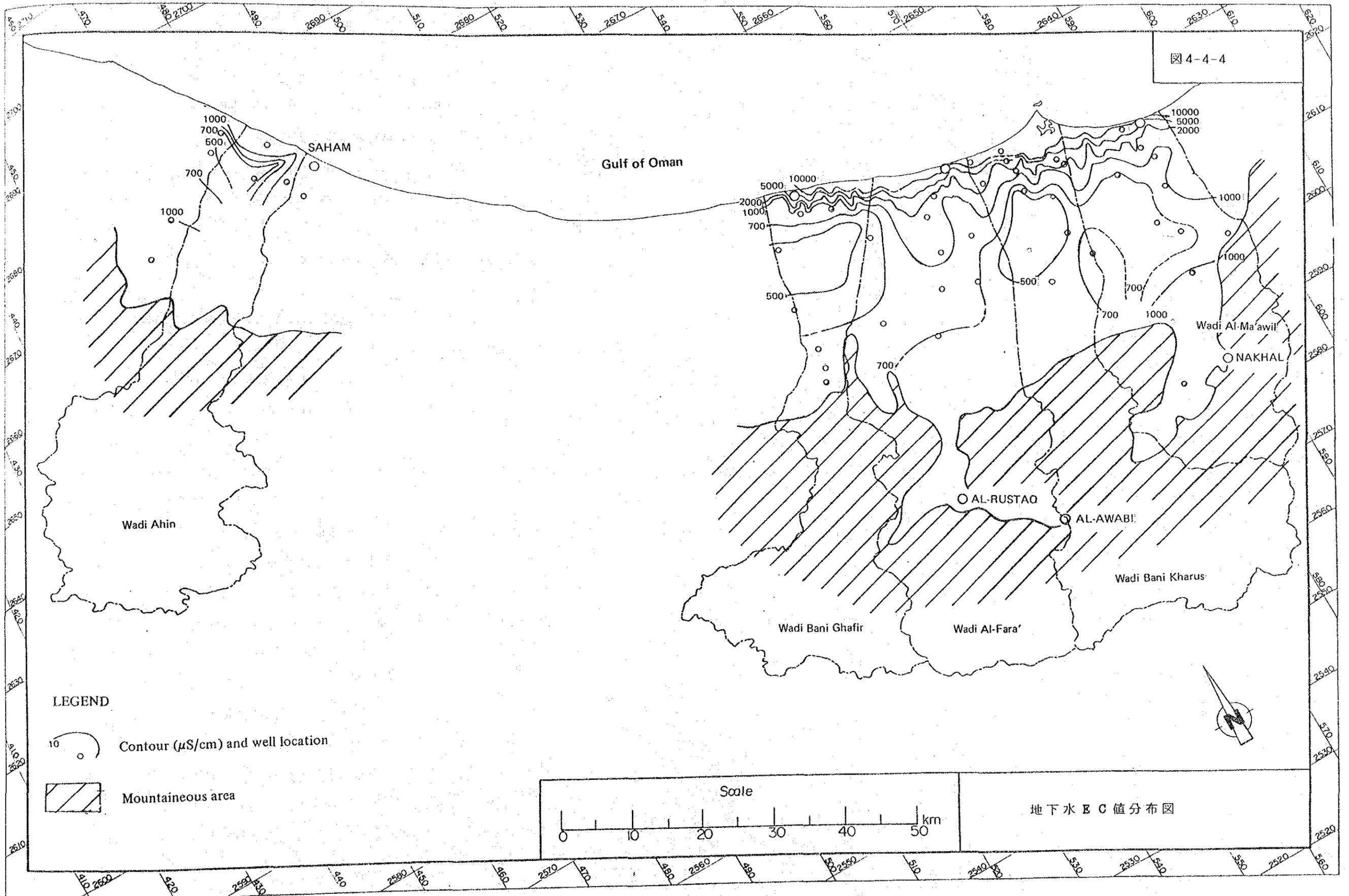
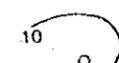
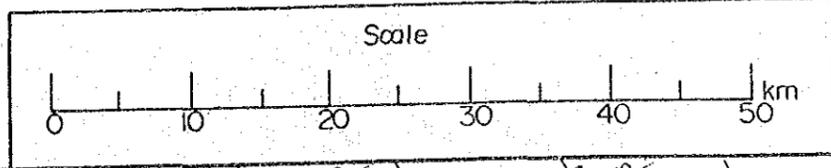


图 4-4-4

LEGEND

- 
 Contour ($\mu\text{S}/\text{cm}$) and well location
- 
 Mountainous area



地下水 EC 值分布图

の合計8種である。これらの分析結果を、Piperのキーマイアグラムによって、図4-3-5 A, Bに示した。

キーマイアグラムに記入した水試料をその起源別に分類すると、降水からワジすじの浅い地下水、更に海岸平野の深い地下水となり、それぞれイオン組成の動きを追跡することが出来る。この図では洪水の水試料を降水に直結するものと考えて、洪水以外のワジの流水を浅い地下水からのものと考えて扱っている。

キーマイアグラム上で、降水のイオン組成は、非常に狭い範囲に現れるのが特徴である。しかも、アルカリ金属イオン（ナトリウム、カリウム）に対して、アルカリ土金属イオン（カルシウム、マグネシウム）の占める割合が高くなっている。

また降水の特徴である重炭酸/炭酸イオンの割合も高い。洪水の水はこれらの点で降水からの特徴をよくひきついでおり、バートナにおいては、洪水は地下水からの流出ではなく、降水から直接ひきおこされたものであることが分る。

ワジの流水は、洪水のイオン組成から井戸水のイオン組成へ変る経路上に登場している。

キーマイアグラム上では、このようにして雨水から地下水に向かって次第に水質が変ってゆく様子が追跡できる。

水質の変化をまとめると、降水は重炭酸カルシウム/マグネシウム型として地下水を涵養するが、浅い地下水は中間型のイオン組成となる。そしてかなり広範なイオン組成に分散するとはいえ、深い地下水は非炭酸カルシウム/マグネシウム型に収束してゆく。非炭酸カルシウム/マグネシウム型は温泉水や化石水に特徴的なタイプであるとされている。

4. 4.5 バートナ天然水の安定同位体組成

およそ300本の天然水試料が集められ、その一部を当計画の解析計画に沿って分析した。水の安定同位体の重水素（D）と重酸素（ ^{18}O ）分析結果は、 δD および $\delta^{18}\text{O}$ として表示されるが、この表示は、試料水の安定同位体濃度の標準水（IABA SMOW）からの変差を千分比で表わしたものである。すなわちXを測定

図4-4-5(1) バートナ天然水のキーマイアグラム

Legend

- ▲ Flood Water
- Wadi Stream Water
- Coastal Groundwater

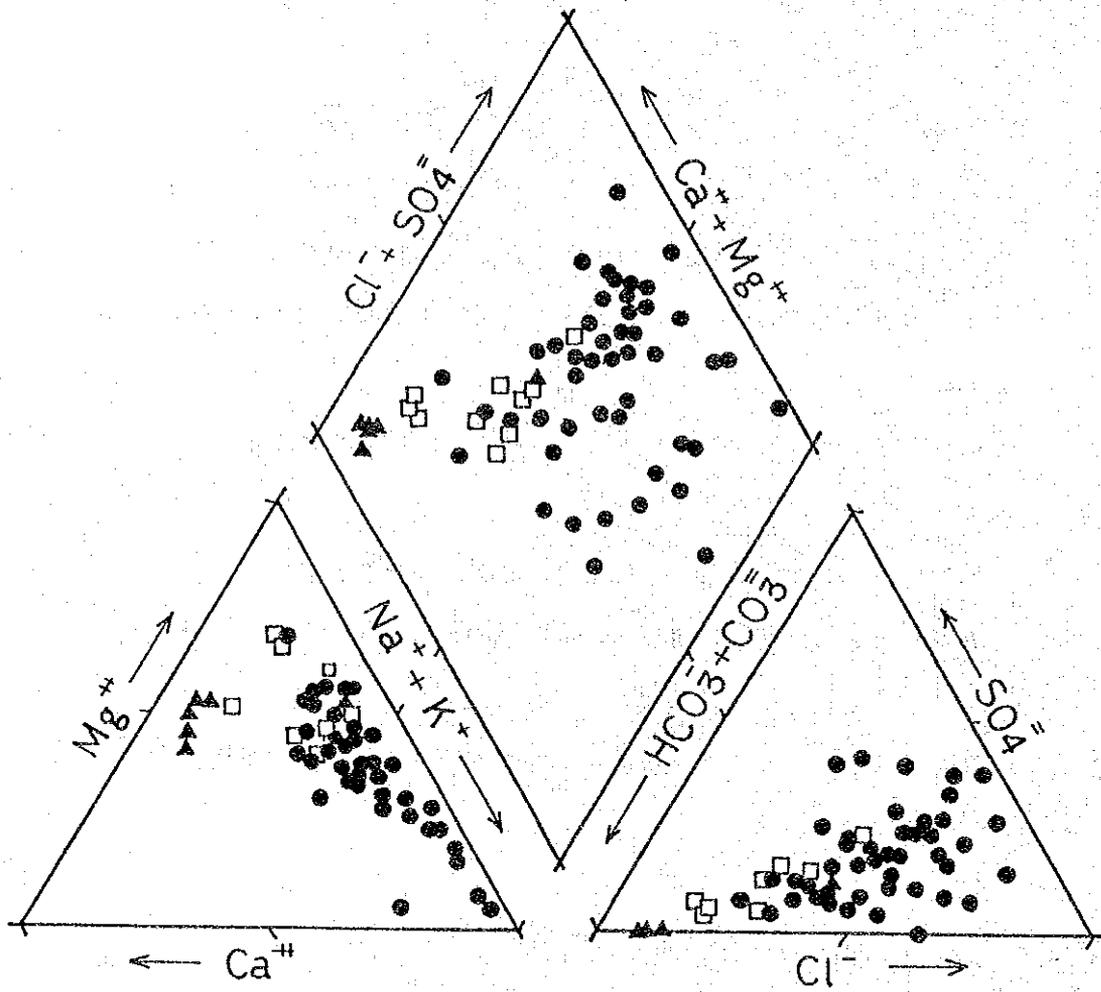
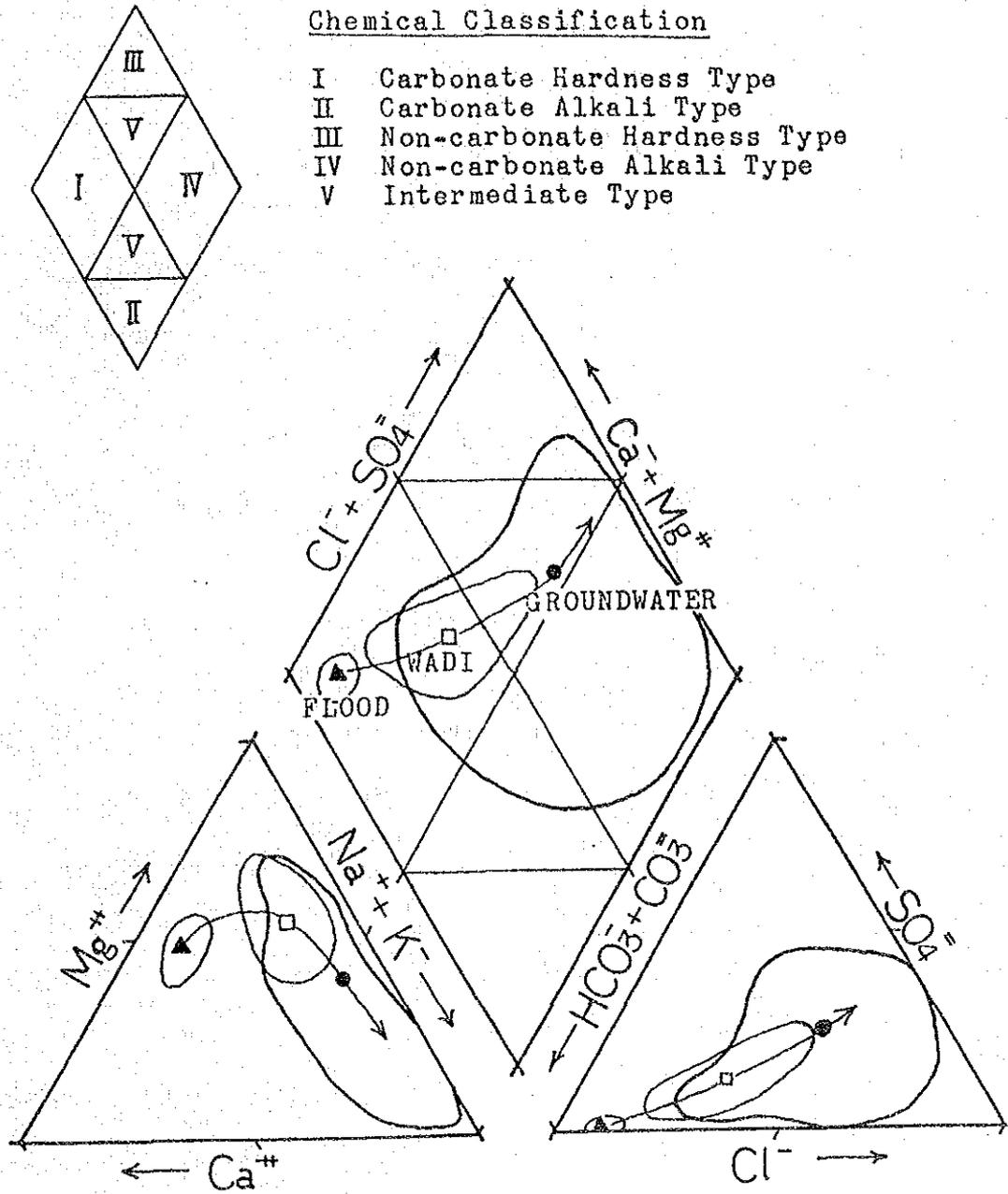


図 4-4-5 (2) パートナ天然水のキーダイヤグラム説明図



した同位体として

$$\delta X = \frac{R(X) - R(X)_0}{R(X)_0} \times 1000$$

ここで $R(X)$ および $R(X)_0$ は、試料および標準水の X の絶対同位対比である。

Dと ^{18}O の場合は、IAEA SMOW では

$$R(D) = 150 \times 10^{-6}$$

$$R(^{18}\text{O}) = 2,000 \times 10^{-6}$$

である。

図4-4-6には測定したすべての値を記入してある。 δD および $\delta^{18}\text{O}$ はパートナの天然水の場合、それぞれ $-45 \sim +45\text{‰}$ および $-8 \sim +8\text{‰}$ であることが分る。

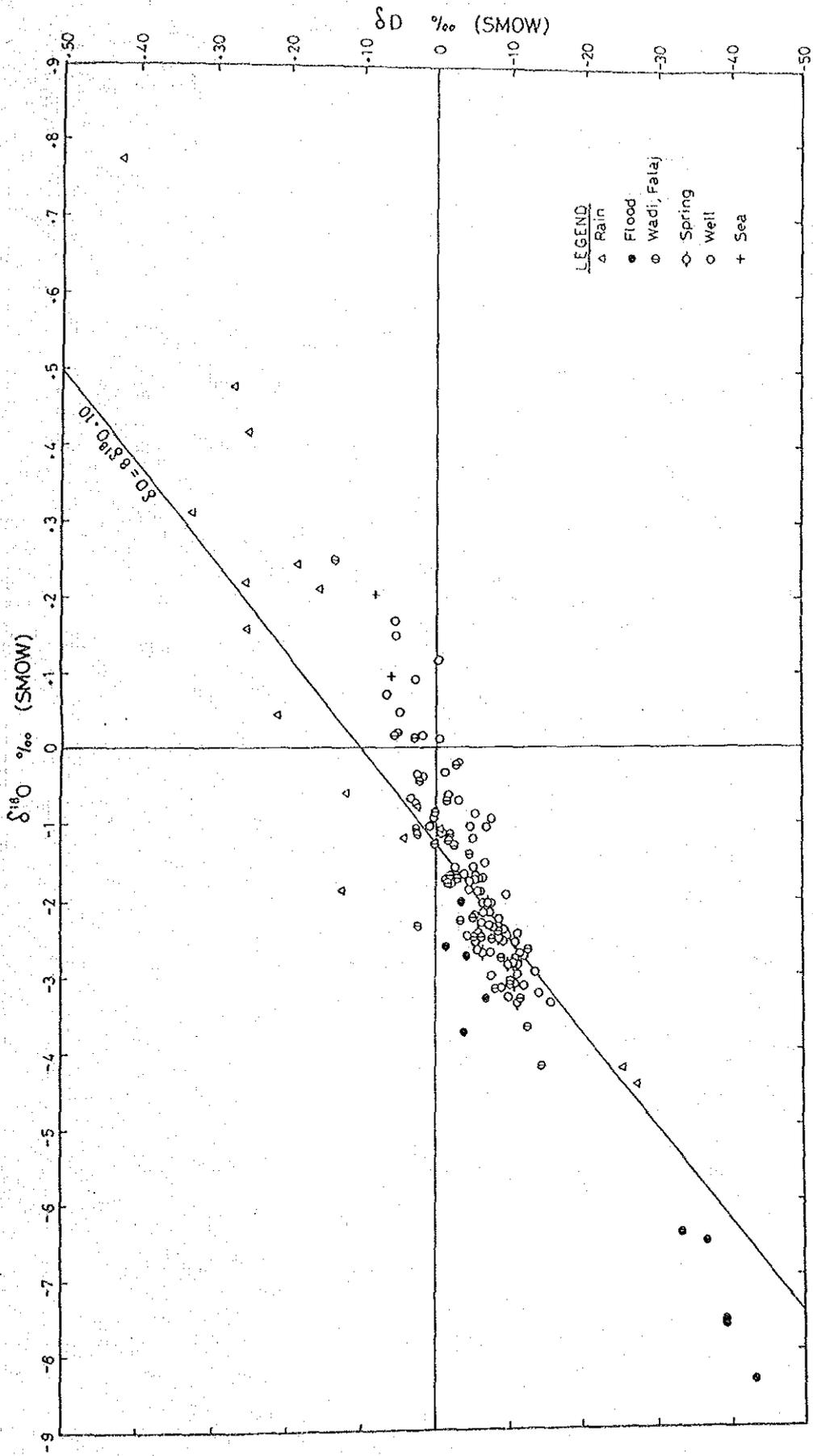
雨水は天然水のうちで最も分布が広く、かつ、かなりDと ^{18}O の濃いものが存在する。このような雨水は、乾燥地帯特有のもので、雨滴がかなりの蒸発を被りながら降下したことを示している。

一方、地下水はむしろ狭い領域に分布しているが、これは、地下水が特定の同位体濃度の雨水によって涵養されていることを暗示している。

洪水と雨水の δD 及び $\delta^{18}\text{O}$ がかなり重複している点は、イオン組成でも指摘したように、降水が直接洪水の水となっていることを示すものである。

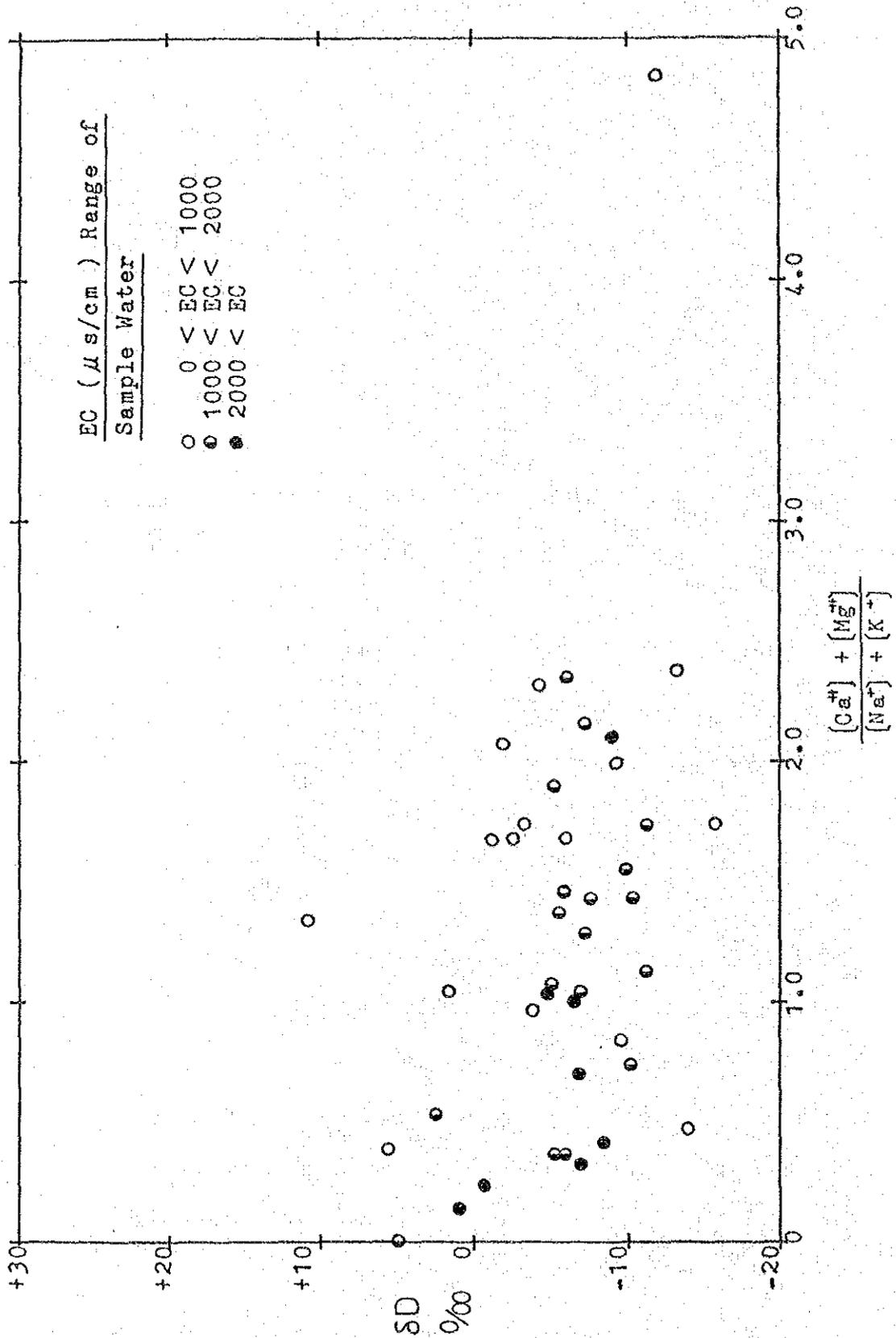
図4-4-7は、海岸部の地下水について、イオン組成の分析の結果と同位体分析の結果をEC値のレベルも加味して表わしたものである。分布は一見乱雑であるが、EC値が $2,000 \mu\text{s}/\text{cm}$ を越す高塩分の領域では、 δD が -7‰ に収束すると同時に、アルカリ土金属の占める割合がアルカリ金属より小さくなる傾向が認められる。シルト分の多い沖積層の帯水層中の古い地下水は一般にアルカリ金属イオンの割合塩分も増加している。この古い地下水は、帯水層中の移動距離も長いと考えられるので、遠くで涵養された地下水 δD は $\delta D = -7\text{‰}$ に収束していることが推定される。

図 4-4-6 ハートナ天然水の $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係



$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$

図 4-4-7 バートナ地下水の $\frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}{[Na^+] + [K^+]}$ vs δD



4. 4.6 パートナ天然水の三重水素含有量

以前の水資源調査 (ILACO 1975, Gibb 1976) に於いても、トリチウム (三重水素) の地下水に含まれる濃度の測定が試みられている。測定数は、全部で 20 ケ足らずであるが、砂礫原中央部から海岸にかけての地下水が、ほとんどトリチウム零濃度であるという興味ある結果が報告されている。

当計画では総計 60 ケの分析を新たに行い、特に、海岸沿いに一連の集中した測定点を展開した。

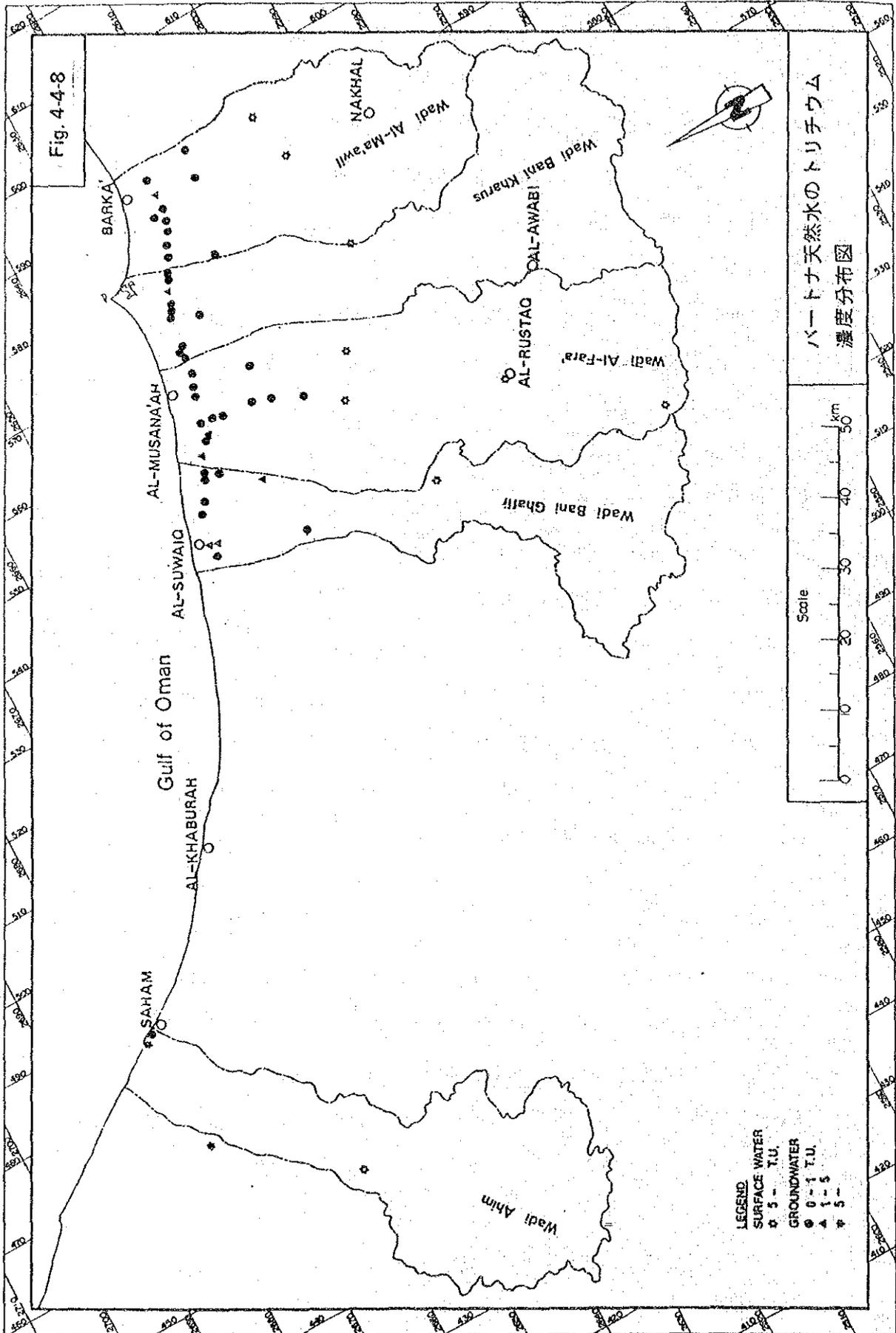
よく知られているように、天然のトリチウムは新鮮な雨水に通常 1 T.U. ($T/H = 10^{-18}$) 含まれる。またトリチウムの半減期は 12 年であるから、30 年以上の古い水では天然のトリチウムはほとんど検出できないということになる。一方、1952 年の人類初の水爆実験以来、大気中に人工トリチウムが大量に存在するようになった。このため、それ以後の降水やその降水を起源とする地下水には天然レベルをはるかに上回るトリチウムが含まれている。

図 4-4-8 には測定結果の地域的分布を示してある。分布は 3 つのゾーンに分かれることが認められる。すなわち、山間部から山麓部の高濃度のゾーン、砂礫原中部の零濃度ゾーン、そして海岸部の零濃度高濃度混合ゾーンである。

この 3 つのゾーンの存在は地下水涵養が山岳側および海岸側の両方で起こっていることを示している。また北部のワジ・アーヒンのトリチウム濃度分布でも分るように、海岸部の地下水涵養はかならずしも一様でなく、特定のワジ流路に沿って起こるようである。このために零濃度の水塊との混在が生じていると考えられる。

図 4-4-9 には、トリチウム濃度と δD 値の関係を EC を加味して示した。それによると、EC が高くトリチウム濃度の低い地下水ほど、特定の δD 値に収束することが認められた。 δD の収束値は $\delta D = -7\%$ で、これはイオン組成と δD の関係で得られた値とよく一致する。すなわち、いいかえれば、遠くから海岸まで到達する時間の経った地下水は、ある特定の水塊が涵養したものと考えられる。

$\delta D = -7\%$ のレベルの降水ゾーンあるいは、同レベルの地表/地下水塊が内



陸に存在し、それが特定の場所で地下水を涵養し、更にある経路を経て海岸の帯水層にまで到達していることが十分考えられる。

4. 4.7 温泉ガス組成

オマーンに数多くの温泉があることは、現在ではよく知られた事実である。当計画調査地域にも著名な温泉が4ヶ所ほどある。そのどれにおいても多少の差はあるが、ガスの発泡が認められる。すでに以前のプロジェクト（Gibb, 1976）でも一部この現象は報告されているが、ガス分析は、酸素、窒素、炭酸ガス、メタン、水素などの通常気体に限られていた。初期の分析で注目されたのは、水素ガスの占める割合であった。特に、セマーイル・オフィオライト帯からの湧泉には、その割合が高く、80%を越すものもある。

今回の分析ではオフィオライト帯の泉からのガスと石灰岩帯の泉からのガスの両者を分析したが、通常気体の分析とともにヘリウム (He)、アルゴン (Ar)、ネオン (Ne) の不活性ガスの分析も行った。分析結果は表4-4-1に示す。

不活性ガスの分析からは、石灰岩帯の温泉ガス中に1%前後の不活性ガスが含まれていることが分った。このうちヘリウムは、10分の1ほどを占めるが、空気中の濃度よりずっと濃縮されている。濃縮された分は地層中の放射性元素からの⁴Heが大部分であると考えられる。これらの温泉の泉温がせいぜい70℃どまりであることも考えると、その熱源は放射性物質の崩壊過程から発生する熱ではないかと考えられる。地下水の追跡や同定に、このような微量成分の利用が将来有効になるかもしれない。

表 4-4-1 温泉ガスの分析結果

No.	Location	Associated water			Chemical composition						
		Temp. °C	pH	H ₂ %	N ₂ %	CO ₂ %	CH ₄ %	O ₂ %	Ar ppm	He ppm	Ne ppm
1	Ain Al-Waddah*	32.0	9.5	81.0	15.9	<0.1	2.22	0.54	3290	<5	<5
2	Howqain Hammam	42	9.5	69.0	28.1	<0.01	2.23	0.18	5100	<5	<5
3	Ain Al-Kesfah	45.7	6.5	200ppm	72.9	1.46	<0.002	24.8	7610	930	10.9
4	Ain Al-Shubaikhah	52.1	6.3	<5ppm	91.2	4.80	0.0018	3.0	9390	1240	13.4
5	Hammam Al-Ali	67	6.3	<1ppm	91.8	4.4	0.008	2.5	12100	297	18.1
6	Air			0.5ppm	78.1	0.03	2ppm	20.9	9340	5	18.2

No.	Location	Associated water		Isotopic composition						
		Temp. °C	pH	N ₂ /Ar	δD_{H_2} ‰	$\delta^{13}C_{CO_2}$ ‰	$\delta^{13}C_{CH_4}$ ‰	$\delta^{15}N_{N_2}$ ‰	³ He/ ⁴ He x10 ⁻⁷	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar
1	Ain Al-Waddah*	32.0	9.5	48	-560	-	-34.5	+0.9	5.89	300
2	Howqain Hammam	42	9.5	55	-	-	-	-	10.0	295
3	Ain Al-Kesfah	45.7	6.5	96	-	-	-	-	1.32	300
4	Ain Al-Shubaikhah	52.1	6.3	97	-	-10.7	-	-0.5	1.76	303
5	Hammam Al-Ali	67	6.3	76	-	-9.6	-	0.0	5.30	296
6	Air			84	-	-8	-47	0.0	14.0	295.5

Contents of H₂S are less than 0.01%.

Ratios δD , $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ are relative to SMOW, PDB and atmospheric nitrogen, respectively.

*Oman Interior

4. 5 土地利用

4. 5.1 土地利用現況

本調査地域の農耕地は、海岸部の井戸水利用と山間部の湧水及びファラジ利用のものに大別され、さらに水利用形態から次の4形態に分類される。(図4-5-1及び表4-5-1, 4-5-2参照)

- 1) 海岸線に沿ったベルト状の従来からの耕作地で浅井戸によるポンプかんがいの農地

ワジ名	面積 (ha)
ワジ・アーヒン	540
ワジ・バニ・ガーフィル	1,830
ワジ・ファラア	1,680
ワジ・バニ・ハルース	1,440
ワジ・マアウィル	2,090
合計	7,580

- 2) 砂礫原及び山麓部に位置し、湧水又はファラジを利用し、かんがいでいる数千年の歴史をもった農地

ワジ名	部落名	面積 (ha)
ワジ・バニ・ガーフィル	1. Daris	12.9
	2. Al-Wustah	19.6
	3. Ali	34.2
小計		66.7
ワジ・ファラア	1. Jamma	71.4
	2. Al-Hazam	43.4
	3. Shubaykah	22.7
	4. Wishal	151.4
	5. Mazahit	5.0
	6. Wabal	197.4
	7. Al-Rustaq	327.0
	8. Al-Awabi	76.6
小計		894.9
ワジ・バニ・ハルース	Khatum	13.0
小計		13.0

ワジ・マアウィル	1. Al-Ajal	43.7
	2. Hibra	116.4
	3. Afi	137.6
	4. Al-Muslimat	111.7
	5. Nakhil	236.5
	6. Tawiyah	9.0
小 計		654.9
合 計		1629.5 = 1630

3) 山間部ワジ沿いの導水路を利用し灌漑している比較的平坦な地形上の農地

ワジ名	面積 (ha)
ワジ・アーヒン	73
ワジ・バニ・ガーフィル	231
ワジ・ファアラ	189
ワジ・バニ・ハルース	256
ワジ・マアウィル	46
合 計	795

4) 海岸線で上記 1) の山側に位置し、海岸部より比較的深い井戸により灌漑している新規開拓農地

	1981-82年分譲面積 (ha)	1983-84年分譲面積 (ha)	合計面積 (ha)
ワジ・アーヒン	620	620	1,240
ワジ・バニ・ガーフィル	1,000	440	1,540
ワジ・ファアラ	1,960	1,010	2,970
ワジ・バニ・ハルース	1,030	670	1,700
ワジ・マアウィル	1,280	1,340	2,620
合 計	5,990	4,080	10,070

以上の土地利用分類による現況土地利用面積は、約20,000haでその内訳は下記の通りである。

① 海岸の従来の農地 (1981年航空写真)	7,580 ha
② 砂礫原、山麓の集落農地 (1981年航空写真及び現地調査)	1,630 ha
③ 山間部導水利用農地 (1981年航空写真及び現地調査)	795 ha
小 計	10,005 ha

④ 新規開拓農地 (1981-82年住宅省資料)	5,990 ha
⑤ 新規開拓農地 (1983-84年住宅省資料)	4,080 ha
小 計	10,070 ha
合 計	20,075 ha

海岸部耕作地は、海岸線に近い所で、塩水現象の進行によると考えられるデーツ椰子の耕作放棄地が数多く認められる。その面積割合は、ムサナのサンプル地区（約300ha）ではその約26%（80ha）にも達する。また、海岸線に沿った部落の周辺耕作地には、数10年以前までは耕作されていたと推定される形跡のところはかなり広範囲に分布している。1985年8月の、海岸地域での農業経営50年以上の農家のききとり調査によると、耕作放棄の理由は塩水化のみでなく、労働力不足、低農業生産性、ほ場揚水施設老朽化への再投資金不足などの返答が得られ、海水浸入による海岸部耕作放棄をうらづける正確な面積の把握は困難だった。

山間部及び砂礫平原の農耕地はファラジ利用地、湧水利用地の耕作放棄地は現況面積のほぼ1割程度、部落によっては3-4割もある。

耕作放棄地の状況が、1982年に撮影した空中写真によりワジ・アル・ファラア下流部について判読された。空中写真判読による新・旧の水利施設と耕作地帯を図4-5-4に示してある。判読の結果は、耕作放棄地が337ha、耕作地が451haとなった（表4-5-5参照）。その理由はファラジ施設が地下深く、建設された年代が1千年以上古く、維持管理できないもの、長年月の自然条件の変化によりファラジの水量が変化したと推定されるものがあり、比較的降雨の多い年で地下水資源も豊富な年に経験的（Occasionally）に農耕を行うものが11部落で約15%程度とみられる。

調査対象地域内において、サンプル地区を選んだ土地利用実態調査を実施した。代表的な傾向を示すムサナ（Al-Musana'ah）地区（図4-5-3参照）は海岸から内陸に向け、次のような特徴が認められる。

- ① サンプル地区外側海岸は居住地になっており、海岸砂丘にムササの町並みがある。町はずれに学校、警察署及び新しい住宅群が位置する。
- ② 海岸に近接し、土壌塩水濃度が高く、植生も特殊な、塩分に強いものが散見出来、部分的にはデーツ椰子が栽培されているが、現在は栽培放棄されている。
(サンプル地区79ほ場のうち30ほ場の約80ha)
- ③ デーツ椰子が主生物であるが、部分的にはアルファルファ、ライムが栽培されている。
- ④ ライム、アルファルファが主作物で、従来からのデーツ椰子が部分的に栽培されている。
- ⑤ 旧国道の上流部に位置し、野菜類が主作物となって、アルファルファ、ライム、マンゴー等の果樹が栽培されている。
- ⑥ 新国道の上流に近年、新規に開拓されたほ場で販売を目的としたアルファルファ等を栽培し、各種野菜を中心に栽培し、拡張しつつある部分。
- ⑦ さらに上記⑥の上流は現在砂礫平原となっているが、新規耕作地として開拓する目的で登録され、フェンスを建設し、将来は農地に開拓しようとしている部分(サンプル地区外)が位置している。

現況作物別作付率は、本調査地域海岸部の20サンプル農家「平均農地面積：10フェダ(4.2ha)」の調査によるとデーツ(Dates)約25%、ライム(lime)11%、マンゴウ(Mango)約8%と3主要果樹が約44%、牧草のアルファルファ(Alfalfa)が約16%、野菜類13%であった。その他、農地となってフェンスで囲ってはいるが、かんがい井戸より遠い部分で未利用面積が約27%ある(表4-5-3参照)。

4. 5.2 土地利用の評価

1979年の農業センサス資料によると、バートナ・コースト海岸部の農家経営規模は、1 ha以下が約44%、1~5 haが45%、それ以上10%、土地なしは1.5%となっている。(表4-5-4)。山間部は0.5 ha未満が約78%、0.5 ha~1 ha 約13%で、1 ha以上はわずか8%である。近年、海岸部の現農地の上流部国有地を、オマーン国籍を有し、かつ農耕を目的とする者に各々10フェダグン(4.2 ha)ずつ分譲しており、将来、海岸部において10フェダグン経営農家が増加して行くことが見込まれる。

一方、山間部の経営規模は今後ともあまり変わらないと推定されるが、山間部の耕地拡大が不可能な部落、水不足の部落では若い農家の子弟が、農業を行わず、町へ出る傾向があり、過疎化が認められる。

国は、条件にかなった人々に対して新規に土地を分譲しており、砂礫平原の開拓は年々進んでいる。分譲面積は、1981年時点の耕地面積10,005 haに対し、1981年以降1985年の土地分譲規制が出されるまでの間に2,400件、10,070 haが登録され、それら農地には、フェンスがはられ、かんがい用井戸または農作業管理棟等の建設が行われ、耕地化しつつある。

地区別には、次のような開拓傾向にある。

- ① バルカ地区 (Wadi Al-Ma'awil 及び Wadi Bani Kharus の一部) ではナハル (Nakhal) 経由ルスタック (Rustaq) 道路沿い約12 km (Barkaより南) の両側とハトム (Khatum) 部落へ上る道路沿いの主に道路に接した地域が多く開拓され、国道1号線沿いは上下流域中3~4 kmがほぼ全域分譲されている。
- ② ムサナ地区 (Wadi Al-Fara' 及び Wadi Bani Kharus と Wadi Bani Ghafir) では、ハザム経由ルスタック道路沿い約20 km (Al Muladdah より南) の両側とジャマー (Jamma) 部落へ上る道路沿い約10 kmなど。
- ③ スウェイク地区 (Wadi Bani Ghafir) も同じく上流部落への道路沿い中心に分譲されている。
- ④ サハム地区 (Wadi Ahin) では国道沿いの上流部に新規開拓農地が拡大され

ている。

本調査地域全体の新規開拓農地は、現況農地面積約 10,000 haのほぼ同面積が地下水源を期待しつつ、開発されている。

土地開発に関する規制としては“1980年に土地利用に関する法律”(Sultan Decree No. 5/80 Land Act)が出され、それに基づいた新規農耕地が各個人に分譲されている。

近年、首都から近距離にあるバートナ・コースト地域、特に本調査地区内国道周辺の分譲が膨大な面積になったため、現況農作地海岸沿いの地下水への海水侵入が懸念され、1985年1月の水資源委員会(Water Resources Council)で以下の土地分譲規制が決定された。

本調査地域における規制地区は次のとおり。

- ① 国道1号線上流域シーブ(Seeb)からバルカ(Barka)の間48km長×3km幅
- ② 国道1号線上流域バルカ(Barka)からスウェイク(Suwayq)の間55km長×7km幅
- ③ 1981年12月に規制が出されたものとしてファラジ(Falaj)のマザーウェル(mother well)から3.5km以内での新規井戸の削井及びファラジの建設禁止となっている。

新規に土地を取得するには、オマーン国籍を有し、農業を目的とする21歳以上の成人であることが条件で、15フェダン(6.3 ha)以内、通常は10フェダン(4.2 ha)の土地が分譲されている。分譲を受けて最初の3年間は政府から貸与の形で耕作するが、それを経過すると住宅省の中央委員会(Central Committee)の許可により、所有権を得ることが出来ることになっている。しかし、申請目的以外に使用したり、農業経営を行わないものに対しては、分譲を取り消すことになっている。なお、農業用目的のみでなく他のあらゆる分野の利用、住宅地、商業地、工業事業用地等についても、各担当省又は、商工会議所等の許可後、住宅省より分譲される。

調査地域に於ける農地面積は、約20,000haでそのうち海岸部の農地が約88%で山麓部を含む山間部は約12%である。

海岸部における農地のうち耕作地は、果樹園44%、牧草16%、野菜13%となっており、残りの27%は農地であってもかんがい施設のない休耕地となっている。果樹のうち主作物であるデーツ椰子は、海岸部農地全体の25%に達し、その中には混植の部分が多い(表4-5-3及び図4-5-2)。

砂礫原、山麓部を含む山間部における土地利用は海岸部とは異なり、そのほとんどがデーツ椰子である。海岸部を除く農地の73%を占める。また、冬作を主とする野菜類が17%、休耕地が10%となっている。(表4-5-2)。海岸部土地利用率は73%、砂礫原、山麓部を含む山間部においては90%である。混植はデーツ椰子畑で多いものの、多毛作についてはほとんど見られない。

新規農地開拓は、明確な水資源の把握なしに進められている。この様な開発は、海岸線の既農地の荒廃につながるおそれがあり、既農地の荒廃は長年に培われ、肥沃になった土地を無にする行為であり、将来はもっと厳しい規制を施行する必要がある。将来の本調査地域の農地利用形態の傾向は、国道沿いの比較的新しい農地及び現在開発中の上流部新規農地が中心となり、作物としてはデーツ椰子が減少して牧草及び野菜類が中心の耕種形態になるとともに農業機械化の方向に近代化し、新規農地を中心とした野菜、果菜、根菜を主な作付作物としてバナナ、パイナップルあるいはアルファルファ等の比較的成育期間が短期間の生産活動が行える1年生作物、多年生作物が増加するものと思われる。

土地利用は、海岸部は現存の土地及び水資源をより有効に活用する方法について更に調査、検討する必要がある。例えば、海岸部既農地の土地基盤整備、山間部では土地拡大はむずかしい地形的要因があり、利用可能な土地があるとしてもそれは小面積で、しかも地形高低差が大きいため、大幅な拡大は望めないため、土地の高度利用について検討する必要がある。

山間部の農地は、労働量、生産物運送経費等を考慮すると、経済効果を高めるために、現況農道の改善を政策的に実施して平野部又は海岸部との格差を是正する必要がある。

1) 海岸部既農地の土地基盤整備

現況農園の水利用は、浅井戸により、揚水した用水を、コンクリートの水槽に一旦貯水し、その後水路により灌漑がなされている。灌漑水路はほとんどが土水路なので漏水が多く、非効率的な水利用形態となっている。

農場内の作付形態は、水槽のまわりにバナナを数本植えるとか、デーツ椰子を一本植える程度で、計画経営とはほど遠く、自家菜園の域を出ていないものが多い。それらの現行農園の経営改善をはかるためにパートナー・コーストに適合した標準的水路の設計、土地基盤整備及び営農指導が必要と思われる。

2) 山間部の既農地の土地基盤整備

山間部農場は、耕地経営規模が小さく、かつ土地資源、水資源にも制約を受けている。また、圃場の高低段差による農作業にとって非効率的な地形となっている。さらに、農産物販売市場までの距離が遠いため、現在は自給型耕作形態となっている。将来は市場への幹線道路事情を順次改良すべきであり、従来の自給型作物栽培にとどまらず新たな特産品を取り入れた農業経営が必要であろう。そのためには、土地利用効率をあげるための各圃場への農道を民生向上のために、優先的に国策として整備する必要がある。

表 4-5-1 地形区分による土地利用分類

(単位: ha)

ワジ流域	場所	海岸部 耕地面積	礫原部 耕地面積	山麓部 耕地面積	山間部 耕地面積	計
ワジ	Barka area	2,090	-	-	-	2,090.0
マアウィル	Al-Ajal	-	-	43.7	-	43.7
	Hibra	-	116.4	-	-	116.4
	Afi	-	137.6	-	-	137.6
	Al-Muslimat	-	111.7	-	-	111.7
	Nakhl	-	-	236.5	-	236.5
	Other villages	-	9.0	-	46.0	55.0
	小計	2,090	374.7	280.2	46.0	2,790.9
ワジ パニ ハルース	Bilah, Bu Abali area	1,440	-	-	-	1,440.0
	Al-Abiyad	-	-	-	53.5	53.5
	Layjah	-	-	-	36.1	36.1
	Istal	-	-	-	41.6	41.6
	Al-Musaynaah	-	-	-	58.0	58.0
	Other villages	-	13.0	-	67.0	80.0
	小計	1,440	13.0	0	256.2	1,709.2
ワジ フアラフ	Al-Musana'ah area	1,680	-	-	-	1,680.0
	Jammah	-	71.4	-	-	71.4
	Al-Hazam	-	43.4	-	-	43.4
	Al-Shubaykah	-	22.7	-	-	22.7
	Wishal	-	-	151.4	-	151.4
	Wabal	-	-	197.4	-	197.4
	Al-Rustaq	-	-	327.0	-	327.0
	Al-Awabi	-	-	76.6	-	76.6
	Al-Fashah	-	-	-	28.8	28.8
	Amq	-	-	-	18.9	18.9
	Other villages	-	-	5.0	141.0	146.0
	小計	1,680	137.5	757.4	188.7	2,763.6
ワジ パニ ガーフィル	As Suwayq area	1,830	-	-	-	1,830.0
	Daris	-	12.9	-	-	12.9
	Al-Wustah	-	19.6	-	-	19.6
	Ali	-	34.2	-	-	34.2
	Al-Hawqein	-	-	-	83.7	83.7
	Other villages	-	-	-	148.0	148.0
	小計	1,830	66.7	0	231.7	2,128.4
ワジ ア-ヒン	Khishdah area	540	-	-	-	540.0
	Al-Heil	-	-	-	8.4	8.4
	Al-Ghozeifah	-	-	-	23.5	23.5
	Other villages	-	-	-	41.0	41.0
	小計	540	0	0	72.9	612.9
合 計		7,580	591.9	1,037.6	795.5	10,005.0

出典: 空中写真 1/10,000 1981 MAF, OMAN

表 4-5-2 砂礫原、扇状地及び山地における
山地利用の現況

(単位: ha)

ワジ流域	村落名	デーツ	季節作物	休閑地	計	
1.	マアウィル	AL-Ajal	29.0	2.1	12.6	43.7
2.	"	Al-Hibra	76.2	40.2	-	116.4
3.	"	Afi	85.7	22.4	29.5	137.6
4.	"	Al-Muslimat	61.4	31.4	18.9	111.7
5.	"	Nakhl	184.5	8.0	44.0	236.5
	小計		436.8	104.1	105.0	645.9
6.	バニ・ハルース	Al-Abiyad	51.4	2.1	-	53.5
7.	"	Layjah	28.3	0.8	7.0	36.1
8.	"	Istal	31.4	10.2	-	41.6
9.	"	Al-Musaynaah	50.0	8.0	-	58.0
	小計		161.1	21.1	7.0	189.2
10.	ファラブ	Jammah	58.6	12.8	-	71.4
11.	"	Al-Hazam	36.0	7.4	-	43.4
12.	"	Al-Shubaykah	18.4	3.5	0.8	22.7
13.	"	Wishal	78.7	40.5	32.2	151.4
14.	"	Wabal	142.2	46.4	8.8	197.0
15.	"	Al-Rustaq	275.3	39.4	12.3	327.0
16.	"	Al-Awabi	61.7	14.9	-	76.6
17.	"	Al-Fashah	24.0	4.8	-	28.8
18.	"	Amq	12.8	6.1	-	18.9
	小計		707.7	175.8	54.1	937.6
19.	バニ・ガーフィル	Daris	6.2	3.5	3.2	12.9
20.	"	Al-Wustah	9.0	5.6	5.0	19.6
21.	"	Ali	10.9	8.2	15.1	34.2
22.	"	Al-Hawq in	72.8	10.9	-	83.7
	小計		98.9	28.2	23.3	150.4
23.	アーヒン	Al-Heil	8.4	-	-	8.4
24.	"	Al-Ghozeifah	21.0	2.5	-	23.5
	小計		29.4	2.5	-	31.9
	合計		1,433.9	331.7	189.4	1,955.0
	Ratio		(73 %)	(17 %)	(10 %)	(100 %)

出典: 空中写真 1/10,000 1981 MAF, OMAN

表4-5-3 サンプルファームの作付面積比

(単位:フェダン)

地域	バルカ					ムサナ					スウェイク				サハム				山間部		合計			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	R.	A.	フェダン	百分率 (%)
農園	-	11	1.4	-	2.6	0.5	-	2.7	1.5	6.0	3.3	2.5	1.0	6.0	6.0	2.0	1.9	0.7	1.2	3.0	2.5	0.5	56.3	25.2
作物	-	5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	3.0	3.0	1.0	0.8	0.15	2.0	7.0	1.0	0.1	24.55	11.0
テーツ	-	0.1	-	-	-	2.0	3.2	-	0.5	-	2.0	-	-	-	0.3	-	1.2	0.05	0.5	7.0	-	-	16.85	7.5
ライム	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	0.2	0.1
マンゴ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25	0.1
バナナ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ぶどう	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アムツルフト	-	5.0	-	5.2	1.9	2.9	2.8	1.2	-	3.0	0.6	2.0	2.3	1.0	1.4	1.0	-	0.1	0.3	0.2	1.5	2.8	35.2	15.7
野菜	8.6	-	-	3.9	2.1	3.5	3.6	-	-	0.5	-	2.75	-	-	2.5	-	-	-	-	-	-	1.6	29.05	13.0
休耕地	12.1	3.8	1.0	4.2	-	7.0	6.6	6.1	-	-	6.5	-	-	1.0	-	2.5	8.6	-	-	0.8	1.0	-	61.2	27.4
合計	20.7	25.0	2.9	13.3	6.6	15.9	16.2	10.0	1.5	10.0	3.9	16.0	4.3	11.0	13.2	6.5	12.5	1.0	4.1	18.0	6.0	5.0	223.6	100.0
家畜	25	25	13	4	-	-	-	5	-	4	-	7	-	2	4	15	-	6	7	2	6	3	128	7.5
山羊	6	4	1	-	-	-	-	5	5	-	-	-	-	13	8	-	5	4	3	-	4	-	58	3.4
羊	4	2	4	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	4	3	-	-	4	-	-	25	1.5
牛	0	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	5	0.3
らくだ	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	7	0.4

出典: JICA調査団1983

表 4-5-4 農地面積別の農家戸数

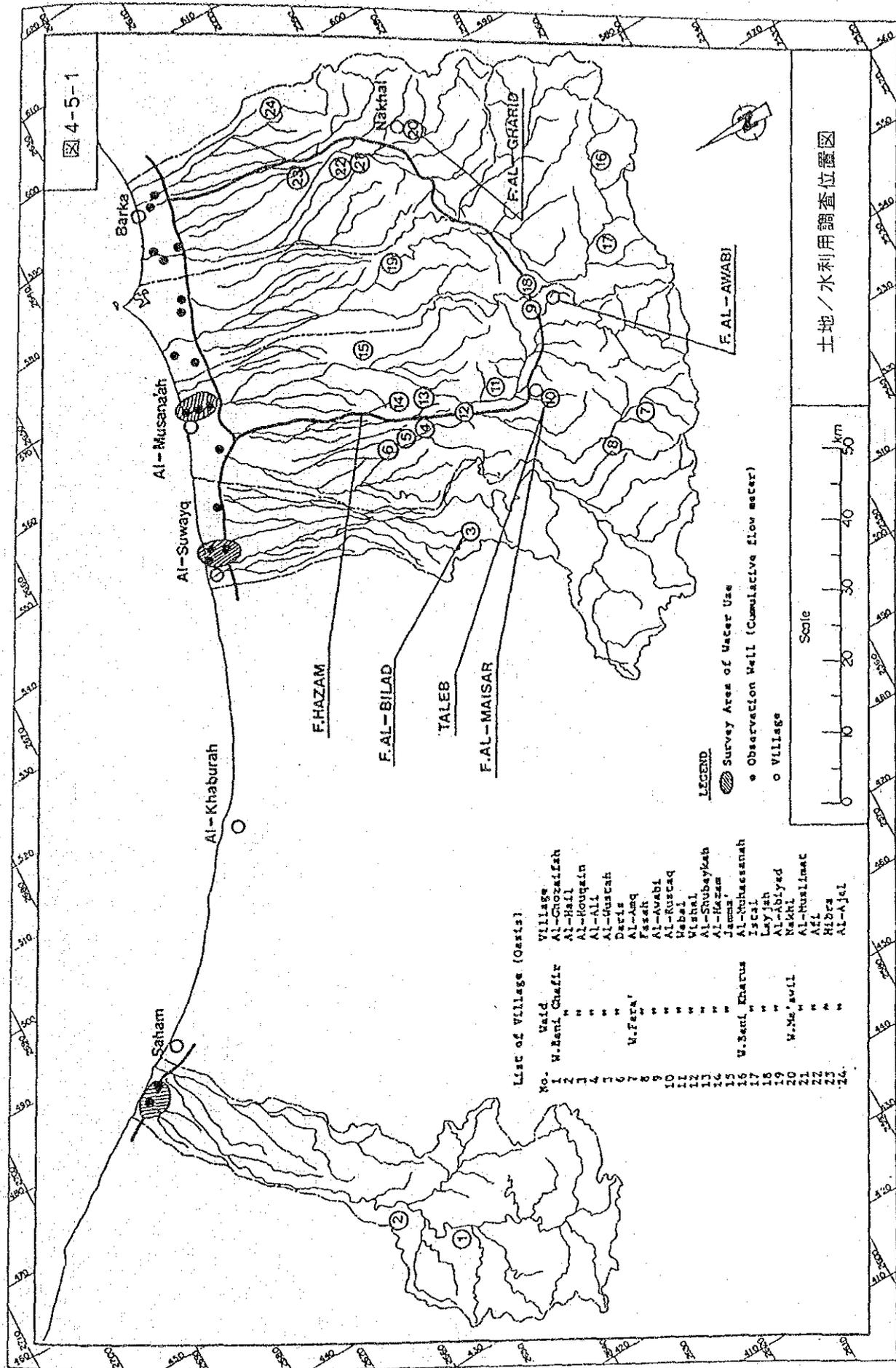
パートナ地区
ハジャール地区

階級 (ha)	戸数 (戸)		百分率 (%)		耕地面積 (ha)		百分率 (%)	
	パートナ	ハジャール	パートナ	ハジャール	パートナ	ハジャール	パートナ	ハジャール
合計	20,130	6,380	100	100	46,126	2,624	-	-
無所有者	308	44	1.5	0.7	-	-	-	-
0.5未満	5,236	4,972	26.0	78.0	1,201	828	2.6	31.6
0.5-1	3,542	858	17.6	13.5	2,559	600	5.5	22.9
1-2	4,950	264	24.6	4.1	7,272	335	15.8	12.8
2-5	4,114	198	20.4	3.1	12,389	463	26.9	17.6
5-10	1,254	22	6.2	0.3	8,664	150	18.8	5.7
10-25	594	22	3.0	0.3	8,274	248	17.9	9.4
25-50	110	-	0.6	-	3,898	-	8.4	-
50-100	22	-	0.1	-	1,868	-	4.1	-
100以上	-	-	-	-	-	-	-	-

出典：農業センサス 1978/1979

表 4-5-5 ワジ・アル・ファラア下流部の農地の耕作放棄地

場 所	現耕作地 (Km ²)	耕作放棄地 (Km ²)
1. Falaj Al-Ali -Al-Wustah -Al-Daris	0.821	1.037
2. Al-Shubaikhah Al-Hazam	0.623	0.506
3. Al-Mazahit -Wishal -Al-Sahra' -Al-Mizfah	2.153	1.712
4. Al-Mamansur	0.095	0.113
5. Jamma'	0.820	0
合 計	4.512	3.368



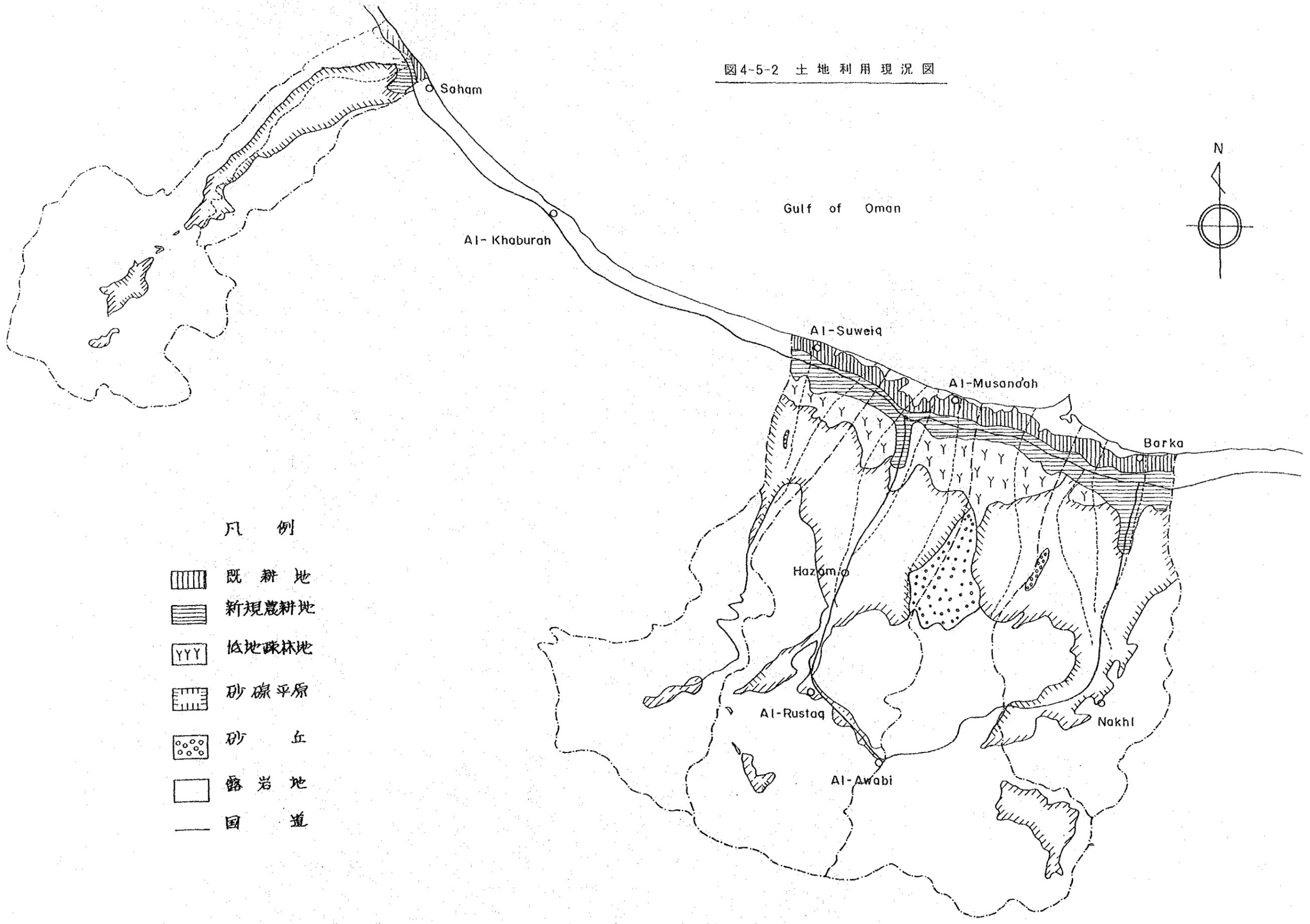
4-5-1

List of Village (Qasbs)

No.	Village
1	W. Vaid
2	W. Bani Chafir
3	Al-Chozafah
4	Al-Hail
5	Al-Houqain
6	Al-Alli
7	Al-Guscah
8	Daris
9	Al-Amq
10	Fasah
11	Al-Awabi
12	Al-Ruscaq
13	Wabal
14	Wadai
15	Al-Shubaykah
16	Al-Hazam
17	Jamma
18	Al-Nuhasanah
19	Iscal
20	Layjah
21	Al-Abiyed
22	Nakhal
23	Al-Nuslinat
24	Afl
25	Hibca
26	Al-Ajel

土地/水利調査位置図

圖4-5-2 土地利用現況圖



- 凡 例
-  既 耕 地
 -  新 規 農 耕 地
 -  低 地 疎 林 地
 -  砂 礫 平 原
 -  砂 丘
 -  露 岩 地
 -  国 道

0 10 20 30 Km

図 4-5-3 サンプル地区の土地利用現況図



Scale : 1/14,000

図4-5-4 空中写真判読による
新・旧の水利施設と耕

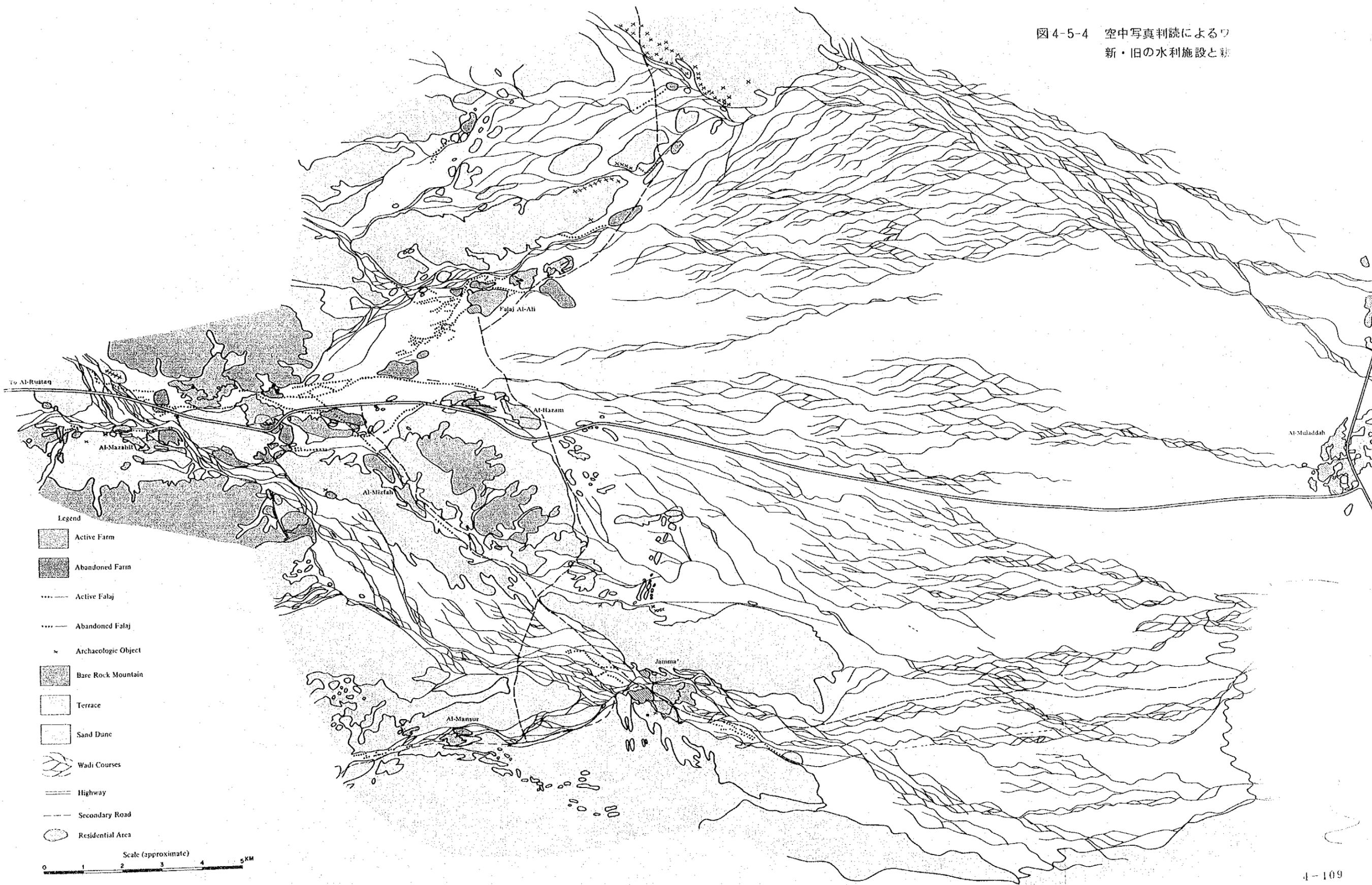
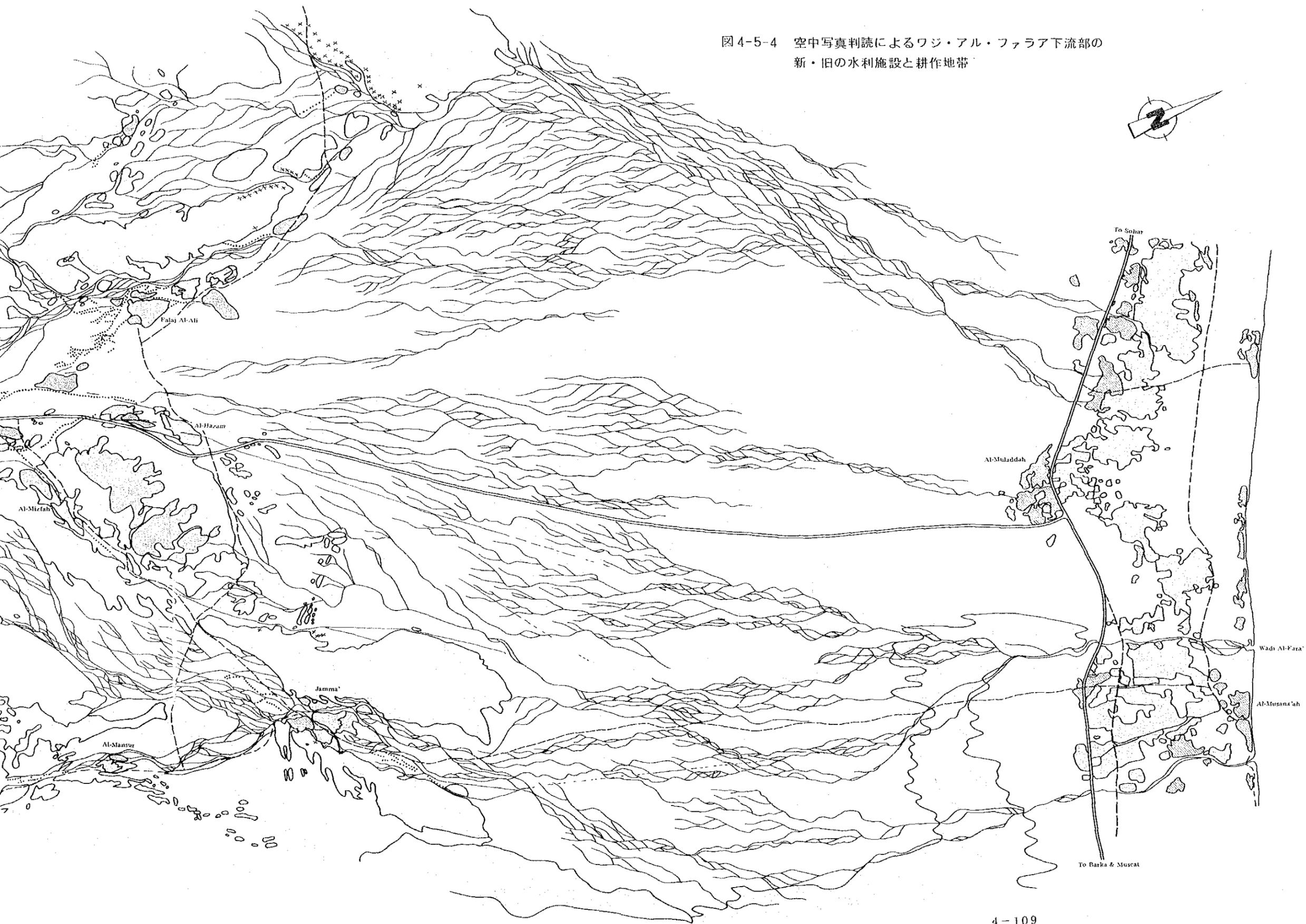


図4-5-4 空中写真判読によるワジ・アル・ファラア下流部の
新・旧の水利施設と耕作地帯



4. 6 水利用

4. 6.1 バートナ・コーストの水利用

北部バートナ・コーストの農耕地における塩類の集積は、農業生産を低下させるほどに深刻になっていると言われている。これは、特に、沿岸部における農業用水としての過剰な地下水の使用と関連づけて説明される場合が多い。水利用調査は、この事実を確認するために、Wadi Ma'awil ほか4ワジにおいて、現実使用している水量を観測し、流域別の水使用量を試算すると共に、現在の水利用の方法について考察するものである。

水利用量の観測は、沿岸部において、Sample として選んだ16の農場が揚水ポンプに積算流量計を設置して、月1~2回の読みとりにより揚水利用量を計測する方法によった。

山間部における集落の水源は、Limestone Spring, Aflaj およびワジの表流水 (Wadi flow) の取水であり、これらの中から6つのファラージをサンプルを選んで水位標を設置し、定期的に水位、流量、水質 (E.C) を観測したものである。

水利用量については、83年春 (3月) より、85年夏現在まで時系列変動を知ることができる。観測の結果は、当地区の水使用現況の特徴をよく示している。観測結果は補助報告書Eにまとめてある。

4. 6.2 バートナ・コーストにおける水源

バートナ・コーストにおいて、かんがい及び生活用水として利用される集落の水源施設は、次のように分類できる。

バートナ・コーストの水源地施設	
水源地名	分布地域
湧水	Nakhal, Al-Rustaq など山麓部の集落
ファラージ	山間地域ならびに礫原のワジ沿いの集落
取水堰	"
井戸とポンプ	海岸沿いの農耕地帯および山間地の集落 (補助水源として)

そして、各水源は、次のような特徴を持っていて、その下流に水源水量に応じた規模の農耕地を展開させている。

湧水

主として石灰岩山地の山麓にあり、その湧水量は、 $1 \ell/s$ から $77 \ell/s$ のものが多い。

水温は、 $29 \sim 51^\circ\text{C}$ と高く、E.C 値は $800/2,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ の間である。湧水量は、比較的安定している。

ファラジ

Falaj は、ワジ河床に人工的に集水渠を作ったものであり、Wadi 伏流水を取水する。その産水量は、上流域における雨量とその分布、Wadi 流域の広さ、ならびに Falaj の集水渠の規模によって左右される。取水の規模は、 $1 \sim 360 \ell/s$ と多様である。

Al-Rustaq, Nakhai, Houqain の大集落を除けば通常 1 集落 $1 \sim 2$ の Falaj を持っている。

水温は、 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 、E.C は、 $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下のものが多い。

産水量は、豊水期と渇水期で差があり、渇水時には豊水時の 10% 以下になることがある。

取水堰

この Weir は、山間地の Wadi の狭隘 (Narrow) 部で基岩の露出するところに設置される。構造は、石積やコンクリート製の低い分水堰であり、Wadi 伏流水を堰上げて取水する。産水量は、Falaj と同様の特徴を持っていて、水温、E.C 値も $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 、 $500 \sim 1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ と Falaj のそれとはほぼ等しい。

水源水量は、しかし、雨水流出 (表流水) の影響を受けやすく、豊水量、渇水量の差が大きい。

井戸とポンプ

平野部沿岸地方の耕地はすべて井戸と揚水ポンプによって地下水を揚水利用する。一つの圃場に1～2の井戸（揚水機）が設置されている。1台の揚水機の平均かんがい面積は、1.82haであり、プロジェクトエリア全体7,580haで約4,100台の揚水機が運転されていると推定される。ポンプは、Volute Type で口径 $\phi = 3$ ", 全揚程約10mのものが多い。

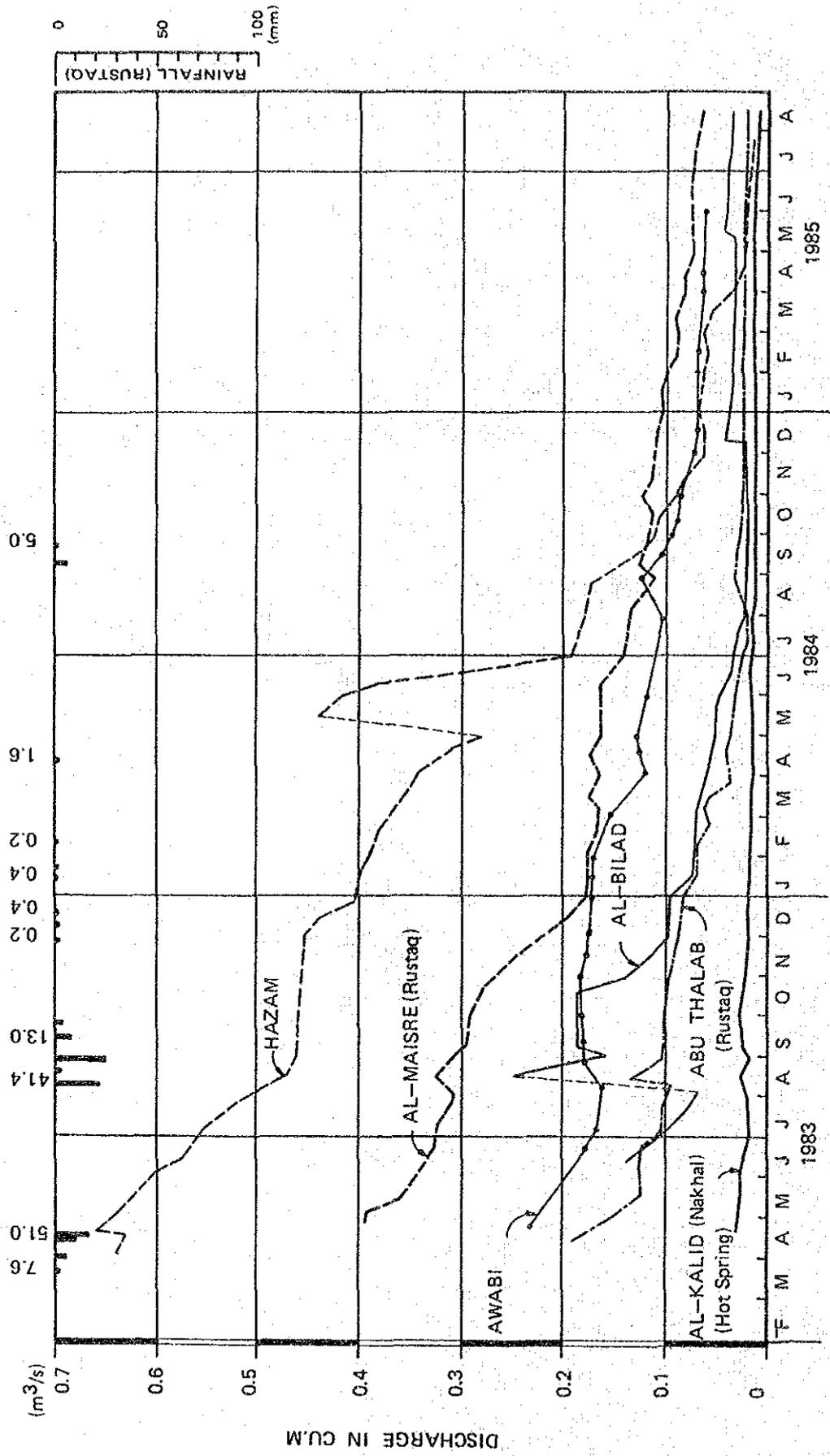
揚水能力は、一般に430mm/日である。

(揚水量; 8 l/s, 運転時間; 9時間, 運転日数; 30日/月として計算した。)

水利用量は、基本的には圃場管理者の意志により決まり圃場により差が出る。

揚水利用される水の温度は、22～37℃, E.C 値は850～12,000 $\mu\text{s/cm}$ 間にあり、山間部の水源の水質に比べて高いE.C 値である。

図4-6-1 ファラジの流量曲線



4. 6.3 水利用の特徴

(1) 平野部の水利用

沿岸部における水の利用は、揚水機により地下水を人為的に汲み上げて行なうため、山間部のそれに比べ違ったものとなっている。水利用の現状は次のとおりである。

1. 水の使用量は、作物別、月別の差がある。

- Dates palm, Mango, Lime などの果樹類と Alfalfa, 野菜類の混植地は、年間平均 2,260mmの水を使用するのに対して、Dates palm単作地は、1,320mmと少ない。その差は、約 1,000mmである。
- Mixed farm, Dates palm単作地共に、6月、7月にピークを生ずる山型であり、冬期1月は、使用量が少ない。月別使用量の平均は、表4.6.1のように
ピーク時 223mm (Mixed farm), 160mm (Dates),
そして冬期 135mm (Mixed farm), 73mm (Dates) である。
- 作物別、月別の使用量の違いは、作物の栽培状況及び作物の蒸発散量の大小を反映しているものと推察される。水使用量に大きな年差はない。

2. 過剰な水利用を行っている農場がある。

- 沿岸部の圃場別の水利用は大きな差がある。過剰取水をしている農場の年間の overdraft 量としては、計算上必要とする水量の33%(Dates), 92%(Mixed farm)上廻ったものがある。

過剰取水している農場は、観測できた13農場のうち7農場、(約50%)あり、その過剰水量は、全揚水取水量の21%(一農場年間780mm/ha)に相当する。

- 過剰取水の農場の特徴は、次のように整理できる。
 - a. 圃場の土壌が砂地で、浸透が常に多いにも拘わらず、従来どおり、Flood irrigationを熱心に行う農場、…………… かんがい方法が不適當
 - b. 農場の面積が小さいにも拘わらず通常の能力の揚水機を設置している(単位面積当たり施設能力の大きい)農場、従って水が容易に多量にかけうる。…………… かんがい技術のレベルが低い。

表4-6-1 海岸部の平均月間水利用量

(単位：mm)

作付 形態 月	'83 / '84				'84 / '85				平 均	
	新 規 混 植	混 植	平 均	デーツ 単 作	新 規 混 植	混 植	平 均	デーツ 単 作	混 植	デーツ 単 体
4月	155	185	170	84	225	186	206	138	188	111
5月	160	214	187	146	230	250	240	137	214	142
6月	210	218	214	116	200	264	232	203	223	160
7月	203	245	224	135	165	264	215	133	220	134
8月	175	233	204	125	205	232	219	83	212	104
9月	170	196	183	110	225	200	213	127	198	119
10月	195	161	178	110	215	167	191	95	185	103
11月	150	161	156	80	208	197	203	140	180	110
12月	170	159	163	77	160	220	190	95	177	86
1月	155	159	157	90	128	97	113	55	135	73
2月	165	143	154	117	170	140	155	45	155	81
3月	180	171	176	128	158	174	166	70	171	99
合 計	2,088	2,245	2,166	1,318	2,289	2,391	2,343	1,321	2,258	1,322
月	(174)	(187)	(181)	(110)	(191)	(199)	(195)	(110)	(188)	(110)

注：表E-2-7（補助報告書E）参照

图 4-6-2 (1) 平均月間水利用量 (1/2)

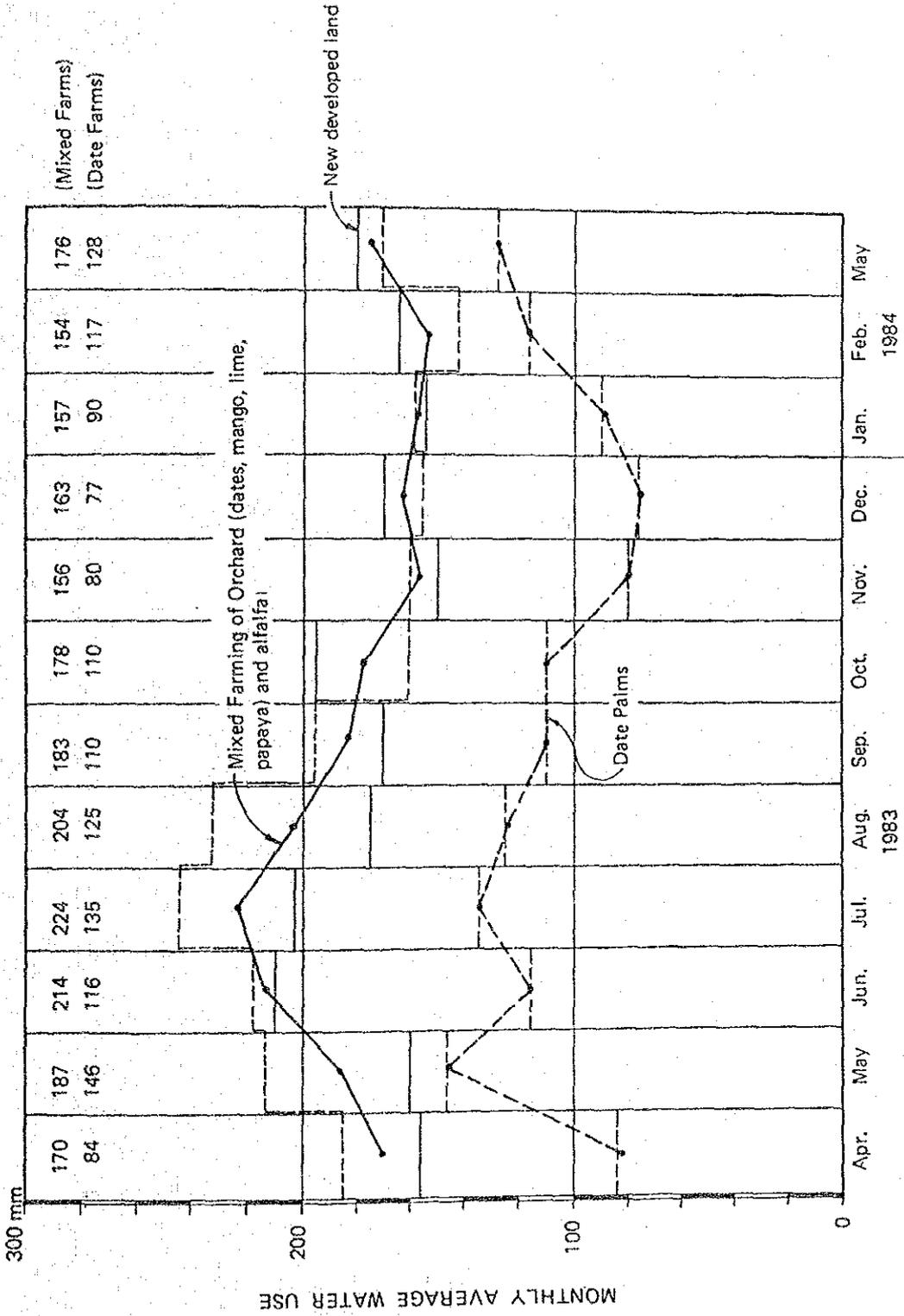
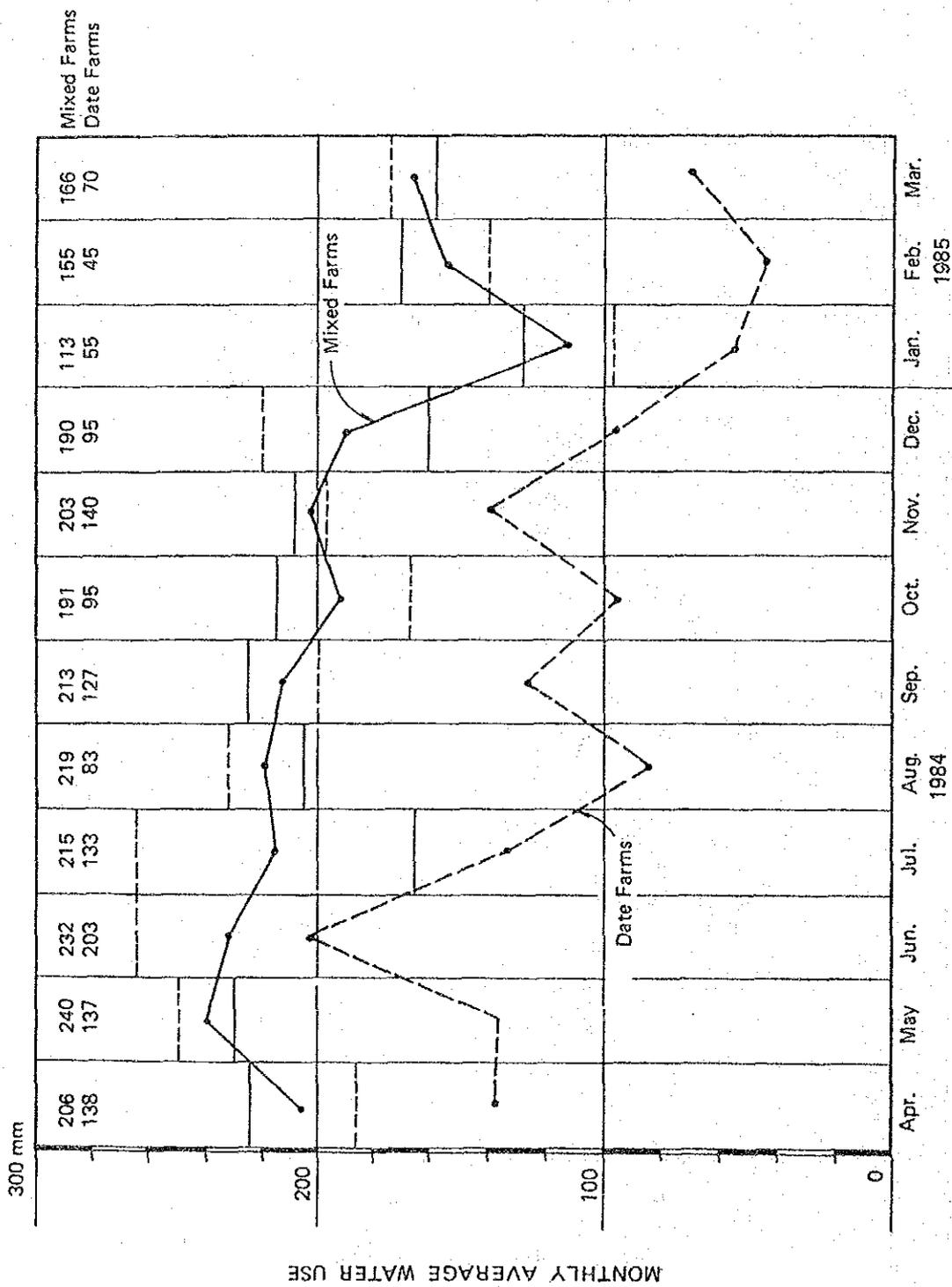


図 4-6-2 (2) 平均月間水利用量 (2/2)



(2) 山間部の水利用

山間部における集落のかんがい用水 (Mixed Farm) や生活用水は、すべて湧水、Falaj などから取水する。従って、その取水量は、水源の産水量と等しく、平野部における水利用とは異なったものとなっている。水利用の特色は次のようである。

1. 山間部集落の取水量は、年間単位面積当たり 3,100~7,100mm と多い (表 4-6-2 参照)。これは、次の点が原因しているものと思われる。

- 集落 (耕地) の規模は、渇水時の水源の供給可能水量によって決定される。つまり豊水年および通常年においては、falaj の産水量は、集落の必要水量 (ほとんどが混植栽培のためのかんがい用水) より一般に多い。
- 水源水量は、水源の種類により若干性格を異にし、falaj は Hydrograph にみられるとおり、渇水時水量は、豊水年水量 600~800mm / 月の 1/3 ~ 1/4 に減衰する。一方、湧水の変動は、他の falaj に比べ少ない。

2. 山間地水利用の他の特徴は、現在行っている水管理システムにある。山間地の集落は、人為的にコントロールできない水源水量を複数の住民が共同で利用するため均等に配分するシステムを必要とした。この配分システムは、“Athar” (末端かんがい水路を 0.5 hr 利用する権利) を単位にして組織的に決められた順序に従って実施される。

(3) 水利用の考察

パートナー・コーストの水利用に関し、以下の諸点を指摘することができる。

1. 山間地集落における最低必要水量

1983年8月以降、雨のない状況が続き、Aflaj の流量は、徐々に低減した。

この過程において、住民がFalaj の管理者に水不足を訴えるその直前の Falaj の流量を、最低必要水量とみなすことができる。

平均月間取水量が約 250 mm である 1984年4月から '85年3月の一年間の総取水量は、年間の最低必要量とほぼ等しいと評価できる。その量は約 3,100 mm であった。この水量は、ha 当たり約 1 ℓ / s である。

図 4-6-3 ファラジの月間水利用量

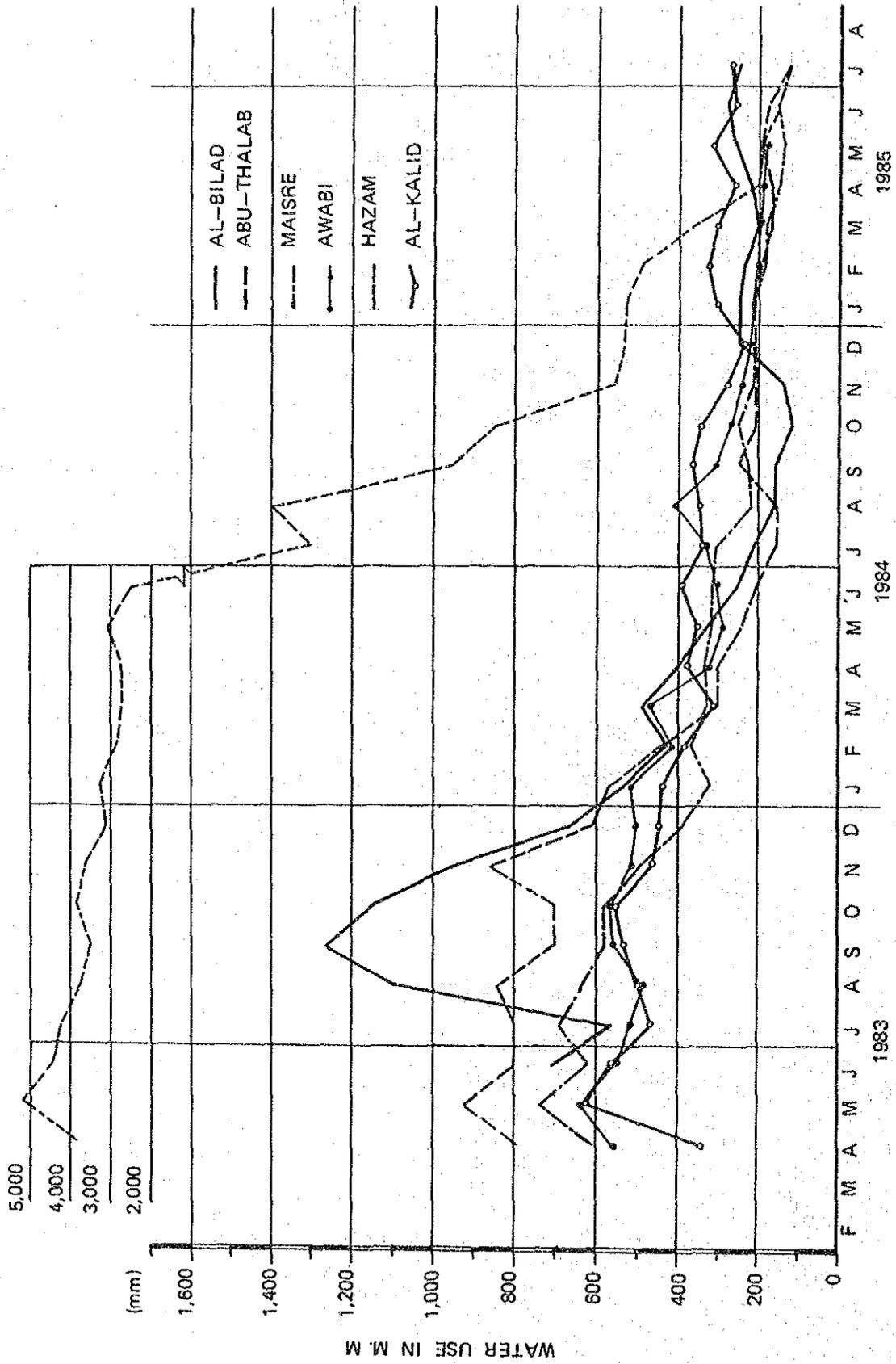


表4-6-2 山間部の平均月間水利用量

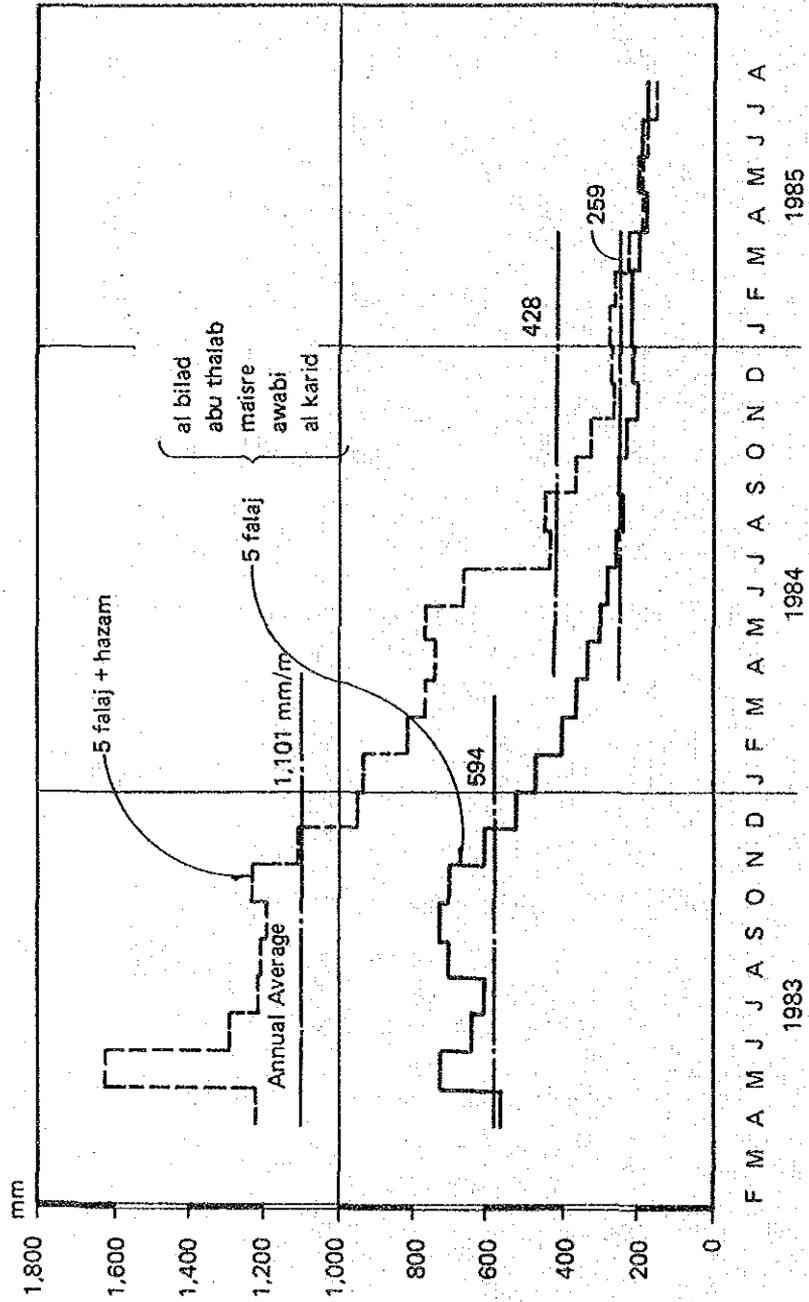
(単位 ; mm/月)

年	1983/84	1984/85	平均
4月	575	348	462
5月	735	308	522
6月	648	296	472
7月	610	270	440
8月	712	260	486
9月	730	264	497
10月	712	240	476
11月	616	216	416
12月	524	224	374
1月	478	238	358
2月	408	232	320
3月	378	212	295
合計	7,126	3,108	5,118
平均	(594)	(259)	(428)

注：山間部の月平均水使用量はファラジハザムを除く5ファラジの流量に依っている。

- 2 沿岸部の水利用量は、Mixed farm の場合、月間平均 188mm、(135~223 mm/月)、年間平均 2,258mmである。Dates palm Farm の場合、これより少なく月平均 110mm (73~160mm/月)、年間 1,322mmである。
- 3 海岸部において、過剰な地下水利用を行う農場がある。水を多量に使う原因は、かんがいと水の配分を同時に行う現状の配水方式、及び畦間を通じて水を末端圃場を送るために水を大量に集中的に流す現状のかんがい方式にある。これらの現状の方式は、水の搬送ロスが多く、節水農業に適していないと思われる。

図 4-6-4 ファラジの平均月間水利用量



4. 6.4 パートナ・コーストにおける水利用量

パートナ・コーストにおいて現在利用している水量は、サンプリングした農場および Palaj の実測水利用量、ならびに航空写真（1981年撮影、縮尺1:10,000）を基に求めた集落耕地面積より試算した。

単位水利用量

(単位 ; mm/月)

栽培体系 月	1983/84			1984/85		
	海岸部		山間部	海岸部		山間部
	混植	デーツ単作	混植 * 1	混植	デーツ単作	混植 * 1
4 月	170	84	575	206	138	348
5 月	187	146	735	240	137	308
6 月	214	116	648	232	203	296
7 月	224	135	610	215	133	270
8 月	204	125	712	219	83	260
9 月	183	110	730	213	127	264
10 月	178	110	712	191	95	240
11 月	156	80	616	203	140	216
12 月	163	77	524	190	95	224
1 月	157	90	478	113	55	238
2 月	154	117	408	155	45	232
3 月	176	128	378	166	70	212

注 ; * 1 ファラジ源頭部での流入量による。

農地面積

年	農 地 面 積 (ha)		
	海 岸 部	山 間 部	計
1983/84	7,580	2,425	10,005
1984/85	7,580	2,425	10,005

流域別、推定水使用量

ワ ジ 流 域		農 地 面 積			推定使用水量 (10 ³ m ³ /年)		
		海 岸 部	山 間 部	計	海 岸 部	山 間 部	計
アーヒン	83/84	540	73	613	7,708	4,901	12,609
	84/85	"	"	"	8,205	2,140	10,345
	平均	"	"	"	7,956	3,521	11,477
バニガーフィル	83/84	1,830	298	2,128	26,121	20,212	46,333
	84/85	"	"	"	27,808	8,814	36,622
	平均	"	"	"	26,965	14,513	41,478
ファラ	83/84	1,680	1,084	2,764	23,980	76,175	100,155
	84/85	"	"	"	25,529	33,224	58,753
	平均	"	"	"	24,754	54,700	79,454
バニハルース	83/84	1,440	269	1,709	20,556	18,614	39,170
	84/85	"	"	"	21,882	8,118	30,000
	平均	"	"	"	21,219	13,366	34,585
マーウィル	83/84	2,090	701	2,791	29,831	49,554	79,385
	84/85	"	"	"	31,760	21,613	53,373
	平均	"	"	"	30,796	35,584	66,379
合 計	83/84	7,580	2,425	10,005	108,196	169,455	277,651
	84/85	"	"	"	115,184	73,909	189,093
	平均	"	"	"	111,690	121,682	233,372

要するに北部バチナコースト地区において、かんがい水および生活用水として年間233百万 m^3 （1983.4～1985.3の平均）の水が使用されている。'84/'85年は渇水時であり、その利用水量189百万 m^3 は、現状のかんがい条件下においては、ほぼ最低必要水量と推定される。従って、比較的水源水量の豊富な'83/'84年の使用量278百万 m^3 と渇水時使用量189百万 m^3 との差89百万 m^3 は、Falaj 周辺で再び地下水に還元された水と無駄に蒸発散して失われた水量とを含んでいよう。

この事実は、地下水涵養のために、豊水期においてFalaj の取水調整が必要なことを我々に示唆している。

一方、高速道路周辺地域において新しい開拓が進みつつあり、その許可面積は、1981～'84年で約10,000haと推定される。この農地が本格的に水利用を行うと、

年間169百万 m^3 * のかんがい用水が、近い将来新たに必要となると予測される。

つまり、この増加水量は、現在の水使用量に匹敵するものであり、年間の使用量が将来何の規制もなければ約2倍になるものと思われる。

これらの数値は、水資源の調整及び対策、ならびに節水型の水利用方式の導入に真剣に直ちに取り組むべきことを我々に示していよう。

注：* $V = q \times A \times f = 2,258\text{mm} \times 10,000\text{ha} \times 0.75 = 169$ 百万 m^3

ここに q ; Mixed farm の平均年間水使用量 = 2,258mm/年

A ; 開拓面積 = 10,000 ha

f ; 耕作率 75%

