

第 3 章 調査地区の現況

第 3 章 調査地区の現況

3. 1 立地条件

3.1.1 位 置

ネジド地方はソファール山脈の北側山麓からルブ・アルハリ砂漠南端に挟まれる約40,000km²に展開する砂漠および土漠から成る。調査地区は、北緯17° 55′ - 18° 45′、東経53° 35′ - 54° 35′ に広がり、東西、南北とも約 100kmの範囲にあり、面積は約10,000km²で、ドーカ、ワジ・モハウリム、シャスル、ハンフィート、キトビートの5地区に区分される。

調査地区に接近する交通手段は、サララとマスカット間の 1,000kmを結ぶ幹線国道があるのみである。

この幹線国道から分岐した主要道路として、サムリートよりシャスル、マルムール、ムダイにつながる砂利道がある。しかし調査地区の中を通る砂利道は未整備のため、ガイドなしの通行は困難である。

3.1.2 社会条件

(1) 行政区分

ネジド地方が属する南部地域は、一つのウィラーヤ（地方行政区、州に相当）であるソファール州に含まれている。

ウィラーヤは、ワリ（地方行政官）により所管され、ソファール州はワリを兼ねる国務大臣により所管されている。

調査地区周辺の主要な集落は、州都サララより北方へ80kmにあるサムリートである。

サムリートは、ソファール州の地方出張所にナイズ・ワリ（副地方行政官）が居り、ネジド地方の行政と商業の中心となっている。

(2) 人 口

ネジド地方の人口密度は非常に低い。サムリートの人口は外国人を含め約 2,100人（1985年のサンプル人口統計調査）で、オマーン人約 1,400人、外国人約 700人と推定されている。

サムリートを除いたネジド地方の人口は、オマーン人約 5,100人、外国人約 100人と推定されている。

人口の大半は遊牧民であり、集落に定着した一部の者を除いて居住地はなく、そのため人口も季節的に変動する。

(3) 集 落

調査地区周辺の集落は、サムリートを除いては以下のようにまとめられる。

1) シャスル

シャスルは昔からのオアシスのある集落で、幹線国道のサムリートより西北へ約70km、ドーカより西南に約80kmの位置にある。

シャスルの集落自体は、10数戸の住宅とワリ・オフィス、モスクで構成された小集落である。シャスル集落の周辺には、合計60家族が放牧生活をしており、家畜はラクダ 1,000頭、ヤギ 2,000頭が飼育されている。その遊牧民が、モスクの礼拝やラクダの飲料水を求めて、シャスルに集まってくる。住宅局では、これら周辺遊牧民の定着を図るため、当地に新しい住宅10戸を建設中である。シャスル集落では、1970年代にオアシスの水を利用して栽培されたナツメヤシがすでに成木となって繁茂している。現在は、これが6世帯共同6haの農場となり、野菜、かんきつ類、牧草などを栽培し、数名のパキスタン人を雇用している。これが、集落内の農場である。

これに対し、ごく最近、集落の外側周辺に数本の浅井戸が掘られ、いくつかの新農場の開発が進められている。集落の外側で農場の開発が急速である。

2) ハイラト・アル・ラーカ

マスカットとサララを結ぶ幹線国道よりシャスルに向う分岐道路沿いに位置し、幹線国道から西に17km、本調査のパイロット・ファーム候補地から西南に約20kmの距離にある。

1980年代になって、かつてネジド地方を本拠地としていた遊牧民のペイト・カスィール族による集団開拓農場が開設された。

1983年に、はじめて浅井戸が掘られ、最初の5農場が開設された。1986年に15戸の農場の土地登録が完了し、1988年には25農場、1989年には42農場になっている。すべて浅井戸の利用である。最近、浅井戸の掘削と農場の開設に急速な展開を見せている地区で、将来は約80戸までの農場開設が予定されている。

しかし、農場所所有者である地元住民は、遠くサララやサムリートに居住し、現地のハイラト・アル・ラーカには居住していない。ワリ・オフィス、モスク、学校、クリニック、水道施設など社会インフラも存在せず、いわゆる集落としての機能はない。

現地の農場には、外国人労働者だけが居住し働いている。

8) キトビート

キトビートは遊牧民の集落で、本調査のパイロット・ファーム候補地から東に約30kmの距離にある。

数年前までは約20戸だったのが、1988年は40戸、1989年には60戸と急速に戸数がふえている。ワリ・オフィス、モスク、小学校、クリニック、水道供給施設があり、周辺の遊牧民の拠点になっている。耕作地はごく少ない。

3. 2 自然条件

3.2.1 地 形

調査地区にはイギリス国防省作成の10万分の1地形図(1986年)および25万分の1地形図(1982年)がある。また、農漁業省はオマーン国全土を対象に25万分の1衛星画像集成写真ならびにその判読図を作成し(1982年)、国防省は南部地域を対象に6万分の1の空中写真を撮影した(1983年)。これに加えて農漁業省は調査地区の一部約350kmを対象に2万分の1の空中写真も撮影した。

ネジドの地形は南縁に山岳部をひかえた北向のゆるい傾斜地である。南縁の山岳部はモンスーンの降水の北限であると同時に、沿岸部とネジド地方の分水界となっている。分水界からネジド地方北縁のルブ・アルハリ砂漠までは約190 kmの距離がある。

地形は海岸側から内陸に向かって大きく3ゾーンに分かれる。

- a) 南の分水界から北斜面扇状地までの、ワジによる深い開析が認められる地域。地表の平均傾斜約 1/100。
- b) 扇状地扇端からネジド中央部までの段丘地形の展開する地域。段丘は高位、中位、低位の3段が認められる。表の平均傾斜は約 1/300。
- c) ネジド中央部からルブ・アルハリ砂丘群の南縁までのネジド主要部。平坦地が展開し、平均傾斜は 1/500。

これらのゾーンは、ほぼ $a : b : c = 1 : 2 : 4$ の面積比で分布している。地表被覆物は一般に山側から内陸に向かって細粒化、円滑化する。しかし乾燥地帯の通例として、古い地形面上や露岩帯には風化角礫が広く分布することが多い。

段丘はそれぞれの比高で区分できるほか、段丘面上の風化礫、特にチャート礫の砂漠ワニス ((Desert Varnish) の濃淡によっても新旧の区分ができる。

3.2.2 気象・水文

(1) 気 候

調査地域は、気候的に乾燥地帯に分類されるが、夏の南西季節風（モンスーン）と冬の北西季節風に強く支配されている。乾燥度は海岸部から内陸部に向かい増加し、ほぼ海岸に平行して気候帯が分布する。

サムリートの観測記録によると、調査地域は気温の日較差が非常に大きく、一年を通して20℃程度である。年最高気温は43～45℃で6月に観測され、1月に年最低気温が2～6℃となる。

年降水量は年により0mmから150mmまで大きく変動する。1980年代の平均値は、32.0mmである。主要な降水はサイクロンの接近通過によってもたらされることが多く、大きなサイクロンは5年に1度の頻度でネジドに到来するといわれる。また、雨期は特定できない。南西モンスーンは6～9月に集中するが、ネジド地方の南縁には標高1,000m級の山岳部が東西に伸びているため、南西モンスーンによる降水はこの山岳部以南と海岸部に限られる。海岸部から山岳部にかけての年降水量は300～500mmで、沿岸から内陸約30kmまでの狭い範囲内に限定される。

(2) 気象観測網

調査地区内には気象観測点は無く、近くには3箇所の気象観測所（含降雨観測）がある。それらはオマーン国交通省（MC）により管理・観測されている。各観測所のリストおよび観測期間を表3.2.1に示し、それらの位置を図3.2.1に示した。これらの観測所の中でカイルーンハイリティは観測期間が短く、資料の整備状況も不完全であり、サララに近いため採用を控えた。本調査を通じてドーカとパイロット・ファーム建設予定地点の2箇所に気象観測所を新設した。今後の継続観測により調査地の気象状況の把握に役立てる。これらの地点に設置する観測機材は以下のとおりである。

ドーカ観測点（1987年11月19日 13時00分観測開始）

- a) ロビンソン式風杯風速計 : 積算風程による週間平均風速
- b) ルサフォード式最高最低温度計 : 週間最高最低気温

- c) 乾湿球温度計 : 相対湿度
- d) 自記温湿計 : 週巻自記チャートによる温度、湿度の変化
- e) 20cm口径雨量計 : 雨量

NJD-3 附設気象観測点 (1988年10月21日 16時00分 観測開始)

- a) KDD-300型 コーシンペーン自記風向風速計
- b) MS-42型 ネオ日射計
- c) SKI-3型 自記雨量計

(3) 降 水

収集可能期間内ではサララとサムリートとも1983年に最大年間降雨量が発生し、各々 359.8mmと 144.6mmであった。最小年はサララが1981年に53.4mm、サムリートが1982年に 7.0mmであり年降水量が大きく変化する。年間降水の平均は、海岸部のサララが 120.7mm、カラ山脈北側のサムリートが36.3mmであり、カラ山脈の存在が山脈の南北両側に大きな影響を与える事を示唆している。

(4) 気 温

サララの年平均気温はおよそ26℃であり、年較差は最大、平均、最低とも5℃内外、日較差は約10℃である。一方サムリアートの年平均気温はサララと同じ約26℃である。しかし最高、平均、最低とも年較差は約15℃と大きく、日較差は年間を通じてほぼ20℃と一定である。

(5) 相対湿度

サララの相対湿度は、7月、8月に約90%と最大になり、12月、1月の約50%に向かい漸減する。サムリートではピークが12月、1月と7、8月の2回あり各々55%、60%近辺の値を示す。他の期間は40%程度の値となる。これは気温の日較差が大きい事による。

(6) 風

サララは一年を通してほぼ3.5m/sec前後で年較差も小さい。風向は年間を通して南風が卓越するが1月、2月に北風、7月に西風が見られる。サムリートは年平均風速こそ5 m/sec 前後であるが、年較差は大きく8月に9 m/sec 前後、冬期に3.5m/secとなる。総じて前半期に6.0m/secの風が吹く。風向は年間を通して南風が卓越する。冬期は北/北西の強風が吹く。Shimali と呼ばれ、大規模な砂嵐を引き起こす。

(7) 蒸発量

サララ、サムリートとも Piche式簡易蒸発計を設置している。サララは年平均6.4ml/day、冬期に10ml/day、夏期に2 ml/dayで年較差 4.0ml/day程度と比較的変動は小さい。サムリートは年平均15.5ml/dayで夏期に多く蒸発量する。冬期は逆となり年変動は Salalahと異なる。

(8) 日照時間

日照時間の観測はサララのみである。7、8月の夏期には極端に小さくなり2時間程度であるが、他の季節は9～10時間の日照がある。

表 3.2.1 近傍氣象觀測所觀測項目一覽表

Item	Station Name	Salalah Airport	Salalah QAIROOH HAIRIII	Thumrait	JICA station Dauka	JICA station Nagha (Pilot farm)
Location (N) or (LAT) (E) or (LONG)	17° 02' N 54° 05' E	17° 15' 17.6" N 54° 05' 06.7" E	17° 40' 22.8" N 54° 01' 35.7" E	17° 40' 22.8" N 54° 01' 35.7" E	18° 40' N 54° 04' E	18° 19' N 54° 03' E
Altitude (a-ASI)	21.78m a.s.l	878.30m a.s.l	466.86m a.s.l	466.86m a.s.l	213.70m a.s.l	283.10m a.s.l
Operation Agency	MOC	MOC	MOC	MOC	JICA	JICA
Data Collection term	Jan. '80 - Oct. '87	Jan. '85 - Dec. '86	Jan. '85 - Oct. '87	Jan. '85 - Oct. '87	Nov. '87 - Now	Oct. '88 - Now
Pressure	Daily & Monthly (Daily Mean) hPa	nil	Daily-Mean, max, min hpa	nil	nil	nil
Air Temperature (°C)	Daily & Monthly Daily, Max, Min, Mean	Daily & Monthly Daily, Max, Min, Mean	Daily & Monthly Daily, Max, Min, Mean	Weekly, Max, Min Hourly	nil	nil
Vapour Pressure (hPa)	nil	nil	Daily & Monthly Daily, Max, Min, Mean	nil	nil	nil
Relative Humidity	Daily & Monthly (Daily Mean) %	nil	Daily & Monthly Daily, Max, Min, Mean	Hourly	nil	nil
Wind PREV-D	Daily & Monthly (Daily Mean) deg	nil	Daily & Monthly (Daily Mean) deg	Weekly	Daily & Hourly	
H-SPEED	Monthly Mean kt	nil	Daily & Monthly (Daily Mean) kt	nil	Daily & Hourly	
Max-Gust	Daily & Monthly Daily Mean, kt	nil	Daily & Monthly Daily Mean, kt	nil	Daily & Monthly	
Evaporation	Daily & Monthly P/CH, ml	nil	Daily & Monthly P/CH, mm	nil	nil	nil
Duration of Bright Sunshine	Daily & Monthly (hours)	nil	Monthly (hr) Mean, Max, Min	nil	nil	nil
Radiation per Day	Monthly (mWh/cm²) Mean, Max, Min	nil	Monthly (mWh/cm²) Mean, Max, Min	nil	Monthly (mWh/cm²) Mean, Max, Min	
Precipitation	Daily & Monthly (mm)	Daily & Monthly (mm)	Daily total, 10min, 1hr-max Monthly	Accumulate	Hourly, Daily, Monthly	

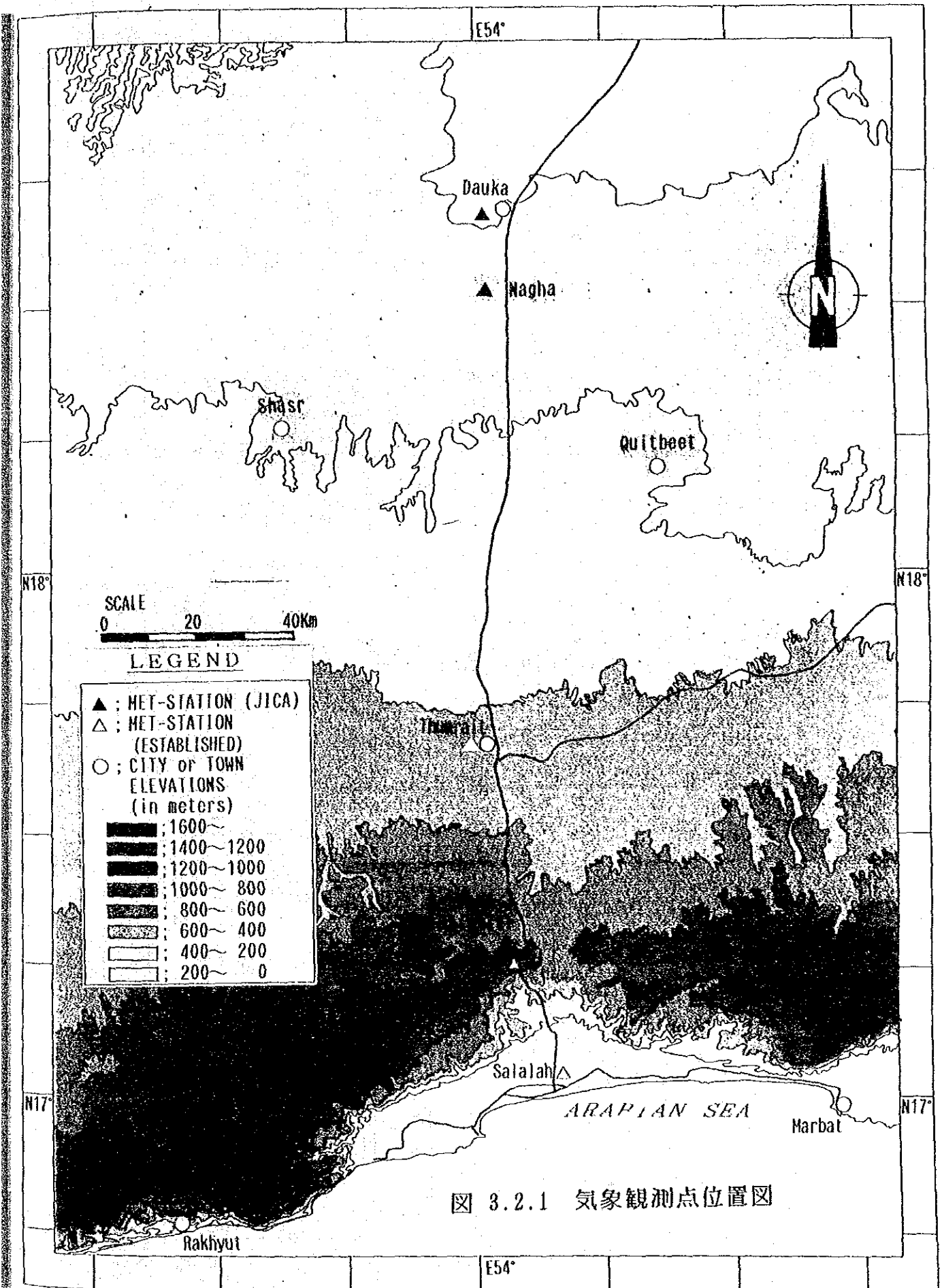


图 3.2.1 气象観測点位置图

表 3.2.2 調査地区近傍の気象 (月平均値)

Salalah Airport (24.38 m-A.S.L.)														
Items	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Spt	Oct	Nov	Dec	TOTAL	Mean
1. Precipitation (mm)	3.5	17.3	3.9	18.9	5.7	5.6	24.9	26.0	4.8	2.5	0.5	0.0	120.7	10.1
2. Max temperature(°C)	27.6	27.9	30.0	32.0	32.4	32.2	29.0	27.5	29.2	30.7	30.8	28.7	-	29.9
3. Min temperature(°C)	17.7	18.2	21.3	23.5	25.7	26.8	24.3	22.8	23.3	21.6	20.4	18.6	-	22.0
4. Mean temperature (°C)	22.9	23.7	25.9	27.5	29.2	29.3	26.3	24.8	26.4	26.6	25.8	23.9	-	26.1
5. Relative humidity(%)	50.7	56.6	62.6	69.3	75.6	80.4	88.3	89.6	80.3	66.8	55.9	50.6	-	69.9
6. Mean wind speed(m/sec)	3.5	3.5	3.2	3.5	3.8	4.7	3.5	3.3	3.6	3.2	2.6	3.4	-	3.5
7. Bright sunshine(hr)	9.2	10.2	9.1	9.7	9.1	6.9	1.9	1.4	6.7	9.6	10.1	9.7	93.6	7.7
8. Evaporation(ml/day)	10.9	9.4	7.7	6.6	6.1	4.6	2.4	1.8	4.0	6.2	8.4	10.9	2397.5	6.3

Source : Climate Summary / National Meteorological Service / Sultanate of Oman

Mean Monthly Climatological Data

Thumrait (466.9m a.s.l)														
Items	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Spt	Oct	Nov	Dec	TOTAL	MEAN
1. Precipitation (mm)	0.6	13.4	6.9	8.5	0.0	0.5	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.2	36.3	3.0
2. Max temperature(°C)	25.4	27.5	32.3	35.7	38.9	40.6	37.4	38.0	35.9	34.6	30.0	26.0	-	33.9
3. Min temperature(°C)	10.4	13.3	17.8	19.3	22.5	23.5	23.7	22.9	21.5	18.4	14.6	11.5	-	18.6
4. Mean temperature (°C)	18.5	20.5	24.8	28.0	31.0	32.6	29.5	29.3	28.8	26.6	23.1	19.3	-	26.2
5. Relative humidity(%)	54.0	53.3	47.1	41.9	44.1	45.1	62.3	58.3	51.1	40.4	48.8	55.5	-	50.1
6. Mean wind speed(m/sec)	3.7	5.2	6.6	6.0	6.7	7.0	10.8	9.0	6.3	4.5	3.2	4.0	-	5.8
7. Bright sunshine(hr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Evaporation(ml/day)	9.2	11.0	15.7	18.2	20.6	20.0	16.6	17.0	16.4	16.9	11.9	9.2	5564.2	15.5

Source : Climate Summary / National Meteorological Service / Sultanate of Oman

図 3.2.2 調査地区近傍の気象（月平均値）

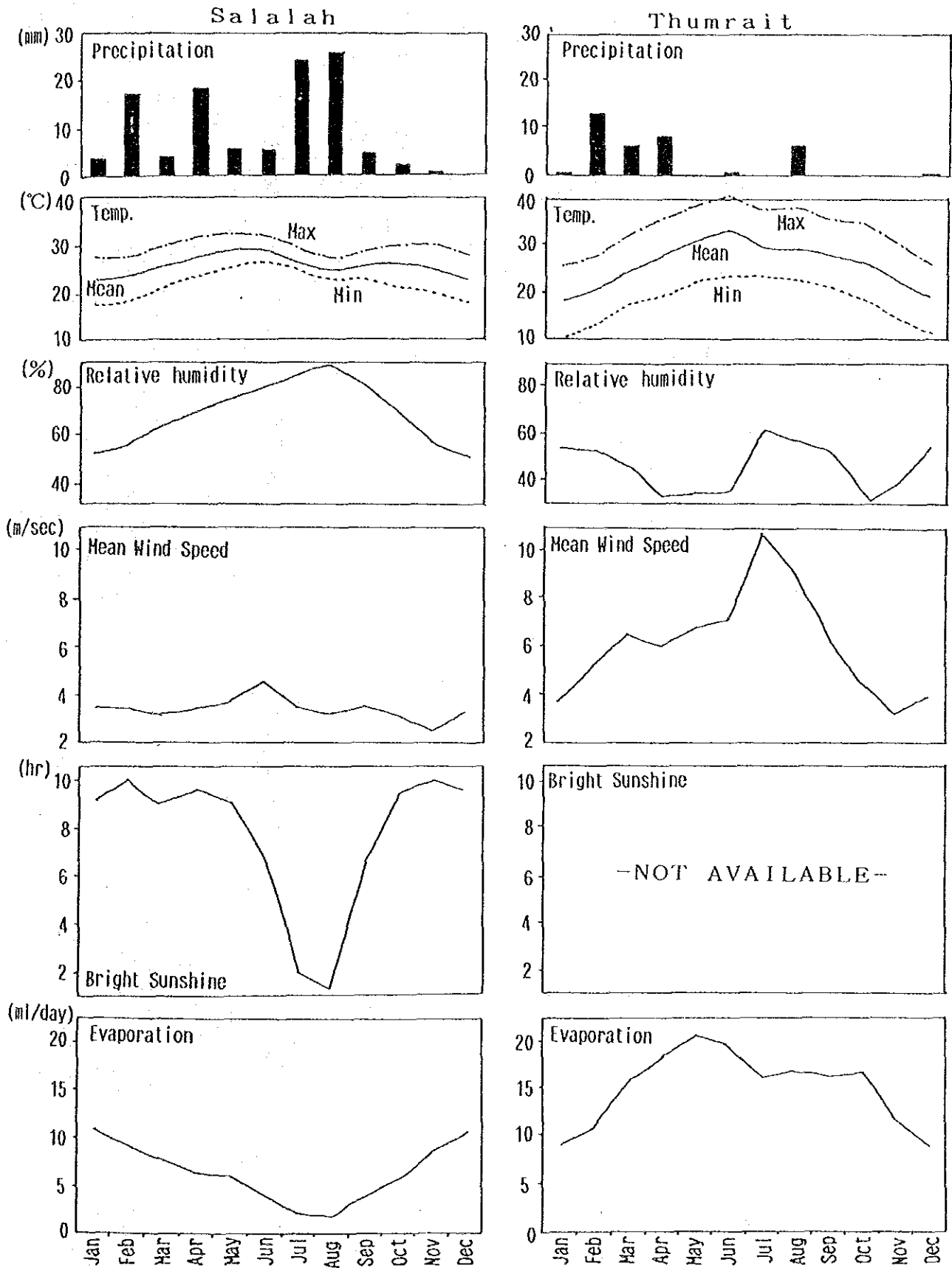
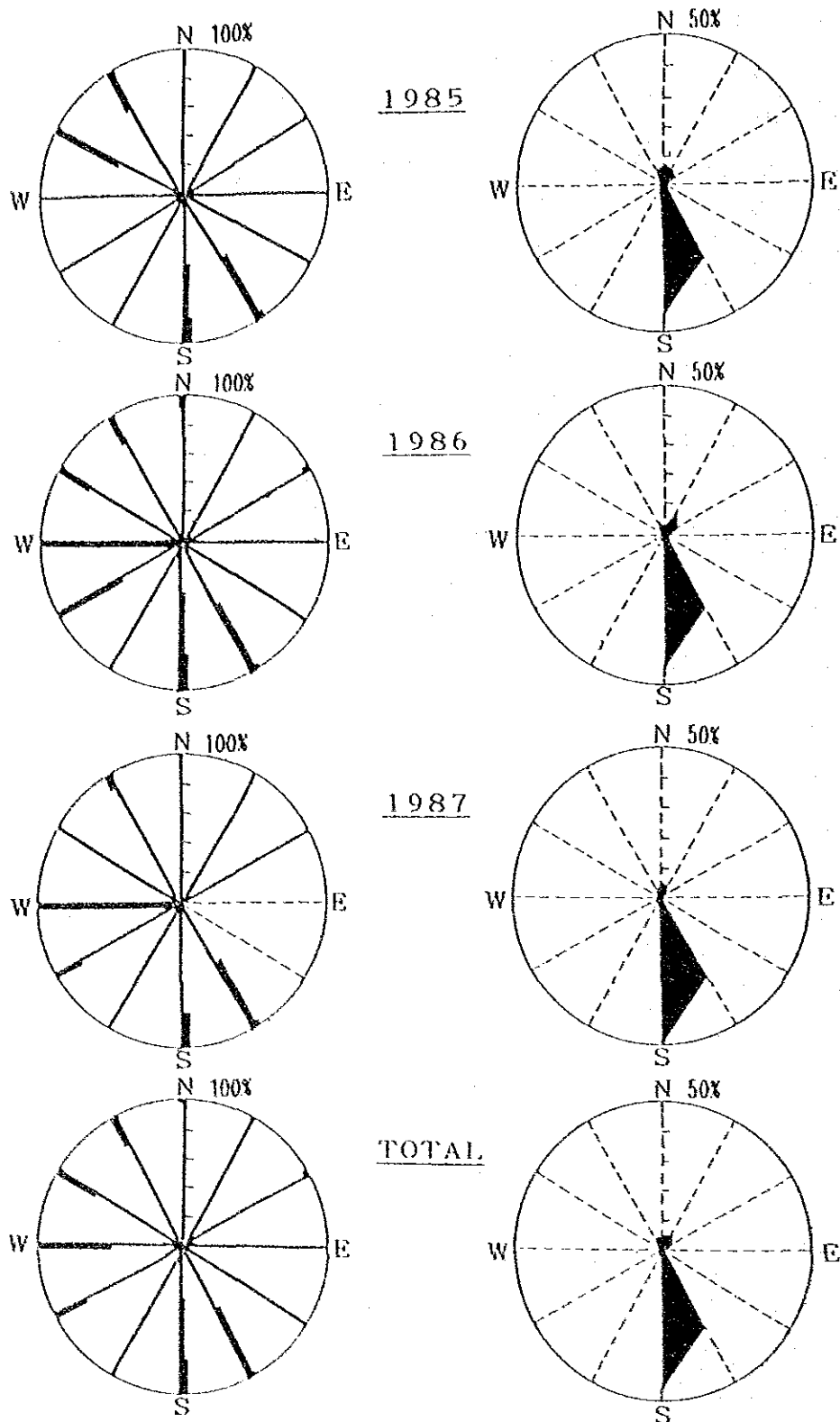
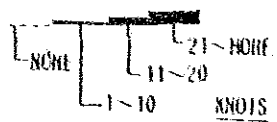


図 3.2.3 サムリートにおける風の特徴



LEGEND



3.2.3 土 壤

(1) 調査目的

本業務の調査地域を図 3.2.4に示す。同図からも明らかなように調査対象地域の大半はこれまでに、いくつかの調査が概括的になされている。

これまでの既存調査にもれ、今回新しく調査がされた地域は図上に示す。SOUTH-DAUKA-1 とSOUTH-DAUKA-2 の2地域である。

これら先駆的既存調査結果を踏えた現地踏査は、2ステージに分かれる。

各々のステージの目的は以下のようにまとめられる。

ステージ I

農業開発適地の選定を行うために、調査地域（ドーカ、ワジ・モハウリム、シャスル、ハンフィート、キトビート、計 418,100ha）の土壤現況を把握し、土地評価を行い、土壤図および土地分級図を作成すること。

ステージ II

調査地域における農業開発のための基本的土壤条件を明らかにして、農業開発ガイドライン作成のための基礎的データを得ること、およびステージ I 段階で選定されたパイロット・ファームサイト（50ha）での詳細な土壤評価を行うこと。

(2) 土壤調査

1) 調査方法

ステージ I とステージ II の調査方法を以下にまとめる。

ステージ I

・既存調査資料の確認

Harza (1985)、GDC (1986)の調査結果を試穿調査 (Auger boring) で確認した。

Harza、GDC の調査地区は図 3.2.4に示す以下の8地区である。

- | | |
|-----------|-----------|
| ・ドーカ | ・南部シャスル |
| ・東部ドーカ | ・ハンフィート |
| ・ワジ・モハウリム | ・北部ハンフィート |
| ・シャスル | ・キトビート |

- ・新規調査地区（南部ドーカ1、南部ドーカ2）
新規調査地区では、試坑調査（Pit excavation）と試穿調査による土壌確認をした。
- ・調査地点
調査地点は空中写真（1：60,000）およびランドサット画像（1：250,000）の判読により選定した。
- ・土壌分類および土地分級
土壌分類および土地分級は、既存報告書にならいFAOの基準に従った。

ステージII

パイロット・ファームサイト（50ha）において、約100mグリッドを基準とした試坑・試穿調査を実施した（調査密度 約1地点/ha）。また、パイロット・ファームサイトの周辺域および既存農場において、補足的な試坑・試穿調査を実施した。

なお、総調査地点数、サンプル数は次の通りである。

調査区分	調査地区		パイロット・ファームサイト	
	地点数	サンプル数	地点数	サンプル数
試坑調査	11	28	6	20
試穿調査	102	146	50	95

また、土壌の分析項目および方法は表3.2.3 に示した。

2) 調査結果

a) 調査地域の土壌

1. 土壌分類

調査地域の土壌は第三紀の石灰岩や泥灰岩を基岩とし、それらの風化堆積物（水成、風成）からなる土壌が大半を占めている。

全般に、土層の浅い（30cm内外）土壌が大半を占め、土層の深い（1m以上）土壌はワジ、扇状地、丘陵地沿いの先端斜面の一部に僅かにみられるのみで面積的には少ない。

自然植生もアカシア類の低木 (*Acacia ehrenbergiana* etc.)、イネ科草本 (*Stipagrostis plumosa* etc.) や広葉草本 (*Zygophyllum coccineum*, *Heliotropium kotchyl* etc.) がまばらに生育する程度で貧弱である。土壤の一般的な特性を列挙すると次の通りである。

物理性

- ・容積重が高い
- ・土壤の発達弱い
- ・土性はやや砂質 (砂質壤土～壤質砂土、粘土含量が低い)
- ・有機物含量が低い

化学性

- ・pH (1 : 2.5) はアルカリを示す (7.0～8.8、平均 8.2、資料数54)
- ・EC (1 : 5) はやや高い (0.1～10.0mS/cm、平均 0.9mS/cm、資料数54)
- ・塩基置換容量が低い (1.0～9.0 me/100g)
- ・可給態養分 (N, P, など) が少ない
- ・炭酸カルシウム含量が高い (20～78%)

調査地域の北部に比べて南部 (サムリット側) の方がECが高く、石膏が多い傾向がみられる。

調査地域の土壤は6群、16亜群の土壤型に区分できる (表 3.2.4)。

調査地域の土壤群別の面積を次に示す。

調査地域における分布面積

1. Fluvisols (沖積土壤)	46,075 ha (11.0%)
2. Yermosols (沙漠土壤)	330,707 ha (79.1%)
3. Solonetz (ナトリウム集積土壤)	1,580 ha (0.4%)
4. Solonchaks (塩類集積土壤)	2,480 ha (0.6%)
5. Regosols (非固結浅層土壤)	4,480 ha (1.1%)
6. Lithosols (岩上浅層土壤)	32,778 ha (7.8%)
Total	418,100 ha (100%)

Yermosols が調査地域の大半を占める。

各調査地区における各土壤亜群の分布面積を表3.2.5 に示す。

また、図3.2.5 に土壤図を示す。

a. Fluvisols

調査対象地域ではワジ部に出現し、 CaCO_3 （炭酸カルシウム）の多い Calcaric Fluvisolsが区分された。全般に、pH (1:2.5)は8.0 内外、EC (1:5)は 0.4~ 0.5m/cmとやや高い。分布面積は46.075ha (11.0%)である。面積的には土層の浅いタイプ (Jc-S) が大半を占めている。これらの土壌は土層の深さ、土性によってさらに次の5亜群に細区分できる。

	Type	Texture	Depth(cm)	Area(ha)%		Suitability
Fluvisols	Deep 1 (JC-d1)	壤質土	>100	40	—	S1
	Deep 3 (JC-d3)	細礫質砂質土	>100	3.710	0.9	S3
	Deep 4 (JC-d4)	細礫土	>100	2.850	0.7	N1
	Moderate Deep 2 (JC-md2)	細礫土~壤質土	50~100	4.735	1.1	N2
	Shallow (JC-S)	細礫土~砂質土	30	34.740	8.3	N2
			合計	46.075	11.0	

b. Yermosols

Yermosols は Soil moisture regimes (土壌湿潤状態区分) が Aridic (偏乾) で、真正な砂漠地域に出現する土壌である。

この土壌は極めて僅かに発達した Ochric A horizon (淡黄色A層位) を持ち、表層40cm以内に有機物含量が極めて少ない (0.5%未満) 土壌である。

この土壌は調査地域の大半 (330.707ha 79.1%) を占める。

調査地域では、石灰岩を基岩としているため、 CaCO_3 (炭酸カルシウム) の集積した Calcic Yermosols と、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ジブサム) の集積した Gypsic Yermosols の2タイプに大きく区分できる。

Calcic Yermosols は pH (1:2.5) 8.0、EC (1:5) 0.1~ 0.2mS/cm、土性は砂質壤土、調査地域では最も一般的な土壌で、307.585ha (73.6%) を占める。土層の浅いタイプ (Yc-S) が優占的である。

Gypsic Yermosols は pH (1:2.5) 7.0~8.0、EC (1:5) は 4.0~10.0mS/cm と高い。赤色味の強い (5YR) 土壌で、調査地域の23.122ha (5.5%) を占め、全般に南部 (特にハンフォート地区) に多い傾向がみられる。

これらは土層の深さおよび土性によって次のように細分できる。

	Type	Texture	Depth(cm)	Area(ha)	%	Suitability
Calcic Yermosols	Deep 1 (YC-d1)	壤質土	>100	11.150	2.7	S2
	Deep 2 (YC-d2)	細礫質砂質土	>100	5.450	1.3	Sc2
	Moderate Deep 1 (YC-md1)	砂質壤土	50~100	3.020	0.7	S2
	Moderate Deep 2 (YC-md2)	細礫質壤質土	50~100	19.040	4.6	S3
	Shallow (YC-S)	壤質土	30	263.355	63.0	N2
Gypsic Yermosols	Deep (Yy-d)	壤質土	>100	2.465	0.6	S3
	Shallow (Yy-S)	細礫質壤質土	30	20.657	4.9	N2
			合計	325.137	77.8	

c. Solonetz

Solonetzは調査対象地区ではOrthic Solonetz,deep(So-d)が区分されワジサムリットの湛水地域に出現する。

土層は100cm以上で、土性は壤質土であるが、ナトリウム含量が多いために農業土地利用適性は低い(S3)。分布面積は1.580ha(0.4%)。ハンフイート地区のみに分布する。

d. Solonchaks

Solonchaksは調査地域ではOrthic Solonchaks,moderate deep(Zo-md)が区分され、古い沖積地沿いの礫質な段丘上に出現する。

土層は50~100cm、土性は礫質であり、塩類濃度が極めて高い(ECe:最大110mS/cm)。農業利用するためには、排水による塩類の洗脱が必要であり、また土層が浅いために農業土地利用は困難(N2)である。分布面積は2.480ha(0.6%)。ハンフイート地区のみに分布する。

e. Regosols

Regosolsは殆んど土壤の発達認められない極めて若い堆積土壌である。僅かにOchric A horizon(淡黄色A層位)のみが存在する。

調査地区ではCalcic Regosols,deep(Rc-d)が区分され、沖積性の段丘や扇状地、風成堆積地に出現する。土層は100cm以上で、土性は非固結な砂質土である。したがって保水性が悪く、農業土地利用適性は低い(S3)。分布面積は4.480ha(1.1%)。ドーカ地区およびシャスル地区に分布する。

f. Lithosols

Lithosols は硬岩上の土壌層の極めて浅い (10cm未満) 土壌である。調査地域ではLithosols,very shallow (L-vs) に区分され、浸食された礫質の段丘や丘陵上に出現する。土層が極めて浅いために農業土地利用は困難 (N2) である。分布面積は32,778ha (7.8%)。主にドーカ、東部ドーカ、南部ドーカ1、キトビート、ハンフイート地区に分布し、その他、南部ドーカ2地区にも分布する。

2. 土地分級

調査地域では Harza、GDC とも基本的にはFAOの土地分級 (FAO: framework for land evaluation,1976) にもとづいて分級をおこなっている。この分級方法はかんがい農業を対象としたもので、表3.2.6 に示すように2オーダー、(S:開発適地、N:開発不適地)、6クラス (S1、S2、S3、Sc2、N1、N2) に区分され、調査対象地域では更にサブクラスの分級として6種類 (x:土性、k:CaCO₃、d:土壌の深さ、t:地形、s:塩類含量、n:ナトリウム含量) の限定要因があげられている。

各クラスの分級基準を表3.2.6 に示す。

これにもとづいて各土壌型を分級した結果を表3.2.4、地区別の分布面積を表3.2.7 および土地分級図を図3.2.6 にそれぞれ示す。

S Suitable	調査地域における分布面積
S1 Highly Suitable	40 ha (0.01%)
S2 Moderately Suitable	18,865 ha (4.5%)
S3 Marginally Suitable	30,620 ha (7.3%)
SC2 Conditionally Suitable	5,450 ha (1.3%)
Sub-Total	54,975 ha (13.1%)
N. Not Suitable	
N1 Currently Not Suitable	2,850 ha (0.7%)
N2 Permanently Not Suitable	360,275 ha (86.2%)
Sub-Total	363,125 ha (86.9%)
Total	418,100 ha (100.0%)

調査地域の 363,125ha (約87%) は開発不適地であり、開発適地は54,975ha (約13%)、そのうち、比較的開発が容易とされる S2 以上は18,905ha (4.5%) にすぎない。

農業開発は基本的には、特に土壌改良の必要がない S2 以上を対象とすべきである。

3. 既存農場の土壌現況

調査地域には4ヵ所の既存農場がある。ドーカ、シャスル、ハイラト・アル・ラーカ、キトビートがそれである。土地分級の結果から、シャスルの土壌が相対的に良好であると言え、次いでハイラト・アル・ラーカ、ドーカ、そしてキトビートと続く。このうちキトビートの農場は土壌条件の極めて悪いところで栽培が行われている。

全般に、既存農場は土壌条件を考慮せずに設置されている場合が多い。各地区の土壌上の主要な問題点は次のとおりである。

a. ドーカ (開設年度：1985年、耕地面積：約18ha)

全般に土層が浅く(深さ約50cmで固結石灰岩が出現)、一部ではかんがい水が滞水し、強度の塩害が発生しているところもみられる。土地分級はS3～N2に区分され農業開発適地とは言えない。対策としては、排水施設を設けるか、既存農場の北西約3kmのところにはS2クラスの土壌が分布しているため、水が得られるのであれば、むしろ農場をそこに移動したほうが良いと思われる。

b. シャスル (開設年度：1973年、耕地面積：約7ha)

土壌は全般に土層が深く、新規の農場では不透水層(固結石灰岩)までの深さが5m以上あり自然排水能が大である。この土壌はS2に区分でき、かんがい農業に適した地区となっている。この地区の土壌は既存農場の中では最も良好であり、特に大きな問題はないと考えられる。

c. ハイラト・アル・ラーカ (開設年度：1980年、耕地面積：約70ha)

古い農場は土壌条件の良いS2クラス(土層の深い)に位置しているが、良質土壌の分布が限られているため、新規の農場は土壌条件の悪いNクラス(土層が浅い)のところに設営せざるを得なくなっている。また、かんがい水も全般に悪化($EC: 2640 \sim 3760 \mu S/cm$)しており、新規の入植者には、土壌と水に関する十分な指導が必要である。

d. キトビート (開設年度：1980年、耕地面積：約0.1ha)

農場は極めて小規模である。農場の土性は礫質であり、土層は深さ約30cmに円礫層が出現し浅い。土地分級はN2に区分され、耕作不適地である。デーツ、牧草等が栽培されているが生育状況は良くない。

b) パイロット・ファームサイトの土壌

1. 環境

パイロット・ファームサイトはマスカット～サララ幹線国道のサララの北 150km、国道の西側約 1.2kmに位置する。

地形はワジ河道部で、標高は 280m、農業開発適地 (S2) は東西方向に広がり、面積は 432haである。

このうち、50haをパイロット・ファームサイトとして選定した。

パイロット・ファームサイトの植生は貧弱 (植被率 1%未満) であり、僅かにイネ科草本 (*Stipagrostis plumosa*)、低木類 (*Fagonia* sp.等) が生育しているのみである。

2. 土壌

パイロット・ファームサイトの土壌図は、図3.2.7 に示したとおりである。パイロット・ファームサイト土壌の一般的特性を次に示す。

- ・ワジ地形部の良く風化した古い沖積層上の土壌である。
- ・土壌はFAOでは Calcic Yermosols, deep 1 (Ye-d₁)、USDAでは Typic Calciorthidsに区分され、土地分級はS2で農業開発適地である。
- ・土壌は概ね 1.5m以上の深さがあり、一部土層の浅いところ (深さ 0～30cm) も出現するが、面積は僅かである (2ha以下)。
- ・JICA掘削井 (NJD2, NJD3) の掘削データおよびパイロット・ファームサイトの北西約 2kmに位置する手掘り井戸の断面観察によると、固結石灰岩の層 (不透水層) は深さ 4～5mのところに出現するものと考えられる。
- ・有機物含量が極めて低く、土壌構造の発達も全般に弱い。下層はカベ状 (massive) 構造を呈す。
- ・土性は表層では砂土から砂壤土、下層では砂壤土から壤土である。シルト含量は深さと共に増加する。
- ・表層のコンシステンシーは乾燥状態、湿潤状態ともルースである。下層のコンシステンシーは乾燥状態では非常に固いが、湿潤状態では指で簡単に崩れるほどもろくなる。
- ・土壌断面にはクラックが良く発達している。
- ・植物根は全般に少ないが、1～1.5mの深さまでみられた。

- ・ pH (1 : 2.5) は全般にさほど高くなく、値は下層に向かって低くなる傾向がみられる。表層および下層のpH値は、いずれもサイトの北部と南部が比較的高く、中央部が相対的に低くなっている。

土 層	pHの平均値	pHの範囲
表層 (0~25cm)	8.3	7.7~8.6
下層 (60~90cm)	8.2	7.7~8.7

- ・ EC (1 : 5) は下層に向かって増加し、下層のEC値はサイトの北部よりも南部に高い傾向がみられる。

土 層	ECの平均値	ECの範囲
表層 (0~25cm)	0.19mS/cm	0.06~0.87mS/cm
下層 (60~90cm)	0.79mS/cm	0.09~2.55mS/cm

- ・ pH値とEC値の間には逆の相関 ($r=-0.603$) が認められる。
- ・ やや赤味の強い石膏の多い土壌はサイトの南側に出現し、その地域の下層のEC値は高い。
- ・ 透水試験 (インテークレート) の結果によると排水は良好であり、不透水層 (固結石灰岩) までは4~5mあると推定されることから、自然排水能は大であると考えられる。
- ・ HCQ に対する反応は激しく、炭酸カルシウム (CaCO_3) は多い。
- ・ 洪水の発生に関して、サイトにおける表層の石礫を観察したが、明らかな洪水の痕跡 (転石等) は、特に認められなかった。また、パイロットファームサイトに流入する集水域は大きなワジと連続せず、面積も41.7km²と小さいうえに上流部が国道によって分断されていることから、大きな洪水の可能性は少ないと推定される。

3) 問題点と対策

1. 調査地域

調査地域土壌の大半は土層が浅く、土層の深い地域は少ない。農業開発はS2クラス、すなわち土層の深い (1.0m以上) ところ、特に不透水層の深いところで行うべきであり、浅いところは避けるべきである。もし、農業開発が石灰岩等の不透水層によって土層が制限されているところで実施された場合、ドーカの既存農場にみられたような排水不良および塩類集積の問題が発生する。

調査地域の土壌は農業開発上、次のような制限要因をもっている。

- ・有機物含量が低い。
- ・容積重が高い。
- ・塩基置換容量が低い。
- ・N、P等の可給態養分が少ない。
- ・炭酸カルシウム含量が高い。

しかし、十分な量と質のかんがい水が得られるならば、第1級（S1）および第2級（S2）開発適地は農業開発上高い可能性を有しているといえる。

Harza、GDC および JICA の調査結果にもとづく、第1級（S1）および第2級（S2）開発適地の総面積は18,905haとなるが、今回の調査によると、この値は実際の面積よりも大きいものと推定される。この傾向は、特にHarza調査地区において著しい。これはHarzaの調査時点（1985）には正確な地形図（縮尺 1/100,000 1986年発刊）がなかったためと推察される。従って詳細な農業開発計画を立案していくためには、土壌の詳細調査、特に開発適地における調査が必要である。

調査地区における既存農場は、ハイラト・アル・ラーカの新規の農場やドーカなどにみられるように土壌条件を考慮せずに設置されている場合が多く、一部では排水不良による塩害などの問題が発生している。このような地区で一定程度の生産性を確保するためには、既存農場に対する土壌管理技術の普及や、新規の農場に対する土壌情報の提供など適正な土壌条件と土壌管理下での農業を指導していく必要がある。

一般的に開発適地には比較的良好な植生がみられる。今後、このような地域で大規模開発が実施される際には、開発の前に自然生態系に関するアセスメント調査が必要である。

自然遺産としての自然植生や野生動物の保全はこの国にとっての重要な課題である。

2. パイロット・ファームサイト

パイロット・ファームサイトの土壌は調査地区のなかでは良好であるが、土壌生成と言う意味では未熟であり、農業開発上様々な問題をかかえている。加えて極めて少ない降水、夏の暑さなど、植物の生育には苛酷な環境となっている。次頁に土壌上の問題点とその対策について示す。

a. 土壌の物理性に関する問題点と対策

問題点

- 容積重が高い。
- 有機物含量が極めて低い。
- 砂漠地の未開拓土壌ではかんがい実施当初（4～6ヶ月頃まで）、表層にクラストが発達し作物の実生が枯死することがあるとされている（PDO FARM Report 1988）。

対策

- 物理性の悪さは有機物の施用によってある程度改善することができる。また、耕起は、有機物の分解を抑制するために最小限度にすべきである。
- クラストについては浅い耕起および頻繁なかんがいによって、ある程度発生を抑制することができる。
- 作物の種類では暖温帯の種類がクラストにたいして弱く、熱帯の作物、特にイネ科（grasses, sorghums and millets）は影響が少ないようである（PDO FARM Report 1988）。クラストはかんがい初期に問題となるため初期導入作物としてRhodes grassなど熱帯のイネ科作物を用いることが考えられる。

b. 土壌の化学性に関する問題点と対策

問題点

- サイトの北と南部では、表層のpHが高い（8.5以上）。
- 表層土壌のECは高くない（平均0.19 mS/cm）が灌漑、施肥等によって長期的には塩類集積の問題が発生する恐れがある。
- 炭酸カルシウム（CaCO₃）含量が比較的高い。
- 塩基置換容量が極めて低い。
- N、Pなど可給態養分が少ない。

対策

- pH 8.5以上の土壌と作物の生育の悪さには、明らかな相関が認められている（PDO FARM Report 1988）。pH値を下げるには石膏や硫黄または生理的酸性肥料である硫酸等を用いることが考えられる。
- サイトの一部に、表層のEC（1:5）が高い（0.5以上）ところもみられるが、塩類はかんがい排水によって洗脱が容易であり、サイトの排水性

も良好であり、また自然排水能も高いと推定されることから、短期的には特に問題とはならない。しかし、長期的には塩類集積の問題が発生するため、排水施設が必要となるだろう。ただし、その時期や規模については土壌のモニタリング調査を通して明らかにしていく必要がある。

- ・ N、P など可給態養分が少なく、塩基置換容量が低い（保肥力が小さい）ために施肥が必要であり、特に N は少量が頻繁に供給されるべきである。なお、P D O 試験農場ではかんがい水に尿素を混ぜ液肥として用いている。また施肥量は、窒素 2,000kg/ha/yr、リン酸 500kg/ha/yr と多量に施肥されている。
- ・ Zn、Cu、Mn、Fe、B といった微量元素は pH が高いと不可給態になりやすいため、計画の実施にあたってはこれら微量元素の調査が必要である。

c. 土壌管理に関する全般的な提案

砂漠地の土壌は表層の小礫（Desert pavement）や薄いクラストによって飛砂の発生が抑えられている。しかし耕起などによってそれらがいったん破壊されると飛砂が発生し、表層土の減少のほか、農機具などの機械類や付帯施設などに影響がでる。対策としては農場の周囲に防風フェンスや防風林を設けるほか、大面積を一度に耕起せず小面積を段階的に耕起、植被していくなど、表層土壌を注意深く管理していくことが必要である。

土壌改良という観点からは、開拓初期の導入作物として多年生のイネ科植物やマメ科の牧草が以下の点から適していると考えられる。

多年生のイネ科牧草（ローズグラス etc）

土壌表面の早期被覆が容易であり、表層土の風による侵食、流亡を防ぐことができる。

根系域に根が侵入することにより土壌の物理性、化学性の改善を早期に、かつ面的に行うことができる。

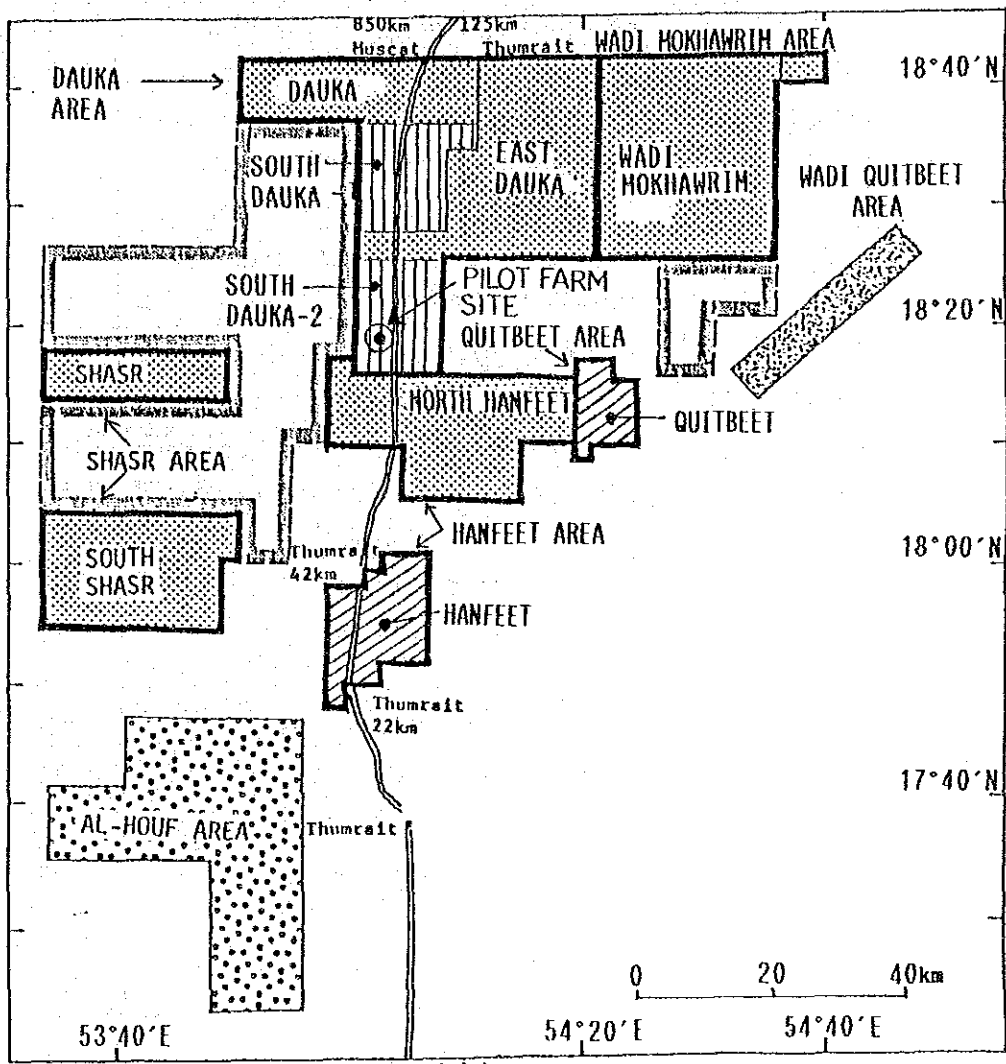
マメ科牧草（アルファルファ）

根粒菌による窒素の固定および有機物の供給など、緑肥として有効である。

なお、Rhodes grass と Alfalfa はいずれも耐塩・耐乾性が高く、砂漠地でも良く生育する作物である。

計画地は事例の少ない砂漠の未開拓地で、土壌条件に関する情報に乏しく、今後、土壌条件と生産性との関係を把握し、土壌管理技術を確立していくためには、土壌に関するモニタリング調査が必要である。

図 3.2.4 調査地域位置図











-  STUDY AREA
-  JICA SURVEY 1987
- PREVIOUS STUDY**
-  Groundwater Development Consultants Ltd(GDC) 1986
Preliminary soil survey of selected area around Hanfeet and Quitbeet in Nejd
-  Harza Engineering Company International.1985
Preliminary Soil and Groundwater Survey in Nejd
-  1:60,000 Soil Mapping
-  Reconnaissance study
-  Sir A.Gibb & Partners 1984
Preliminary Soil and Groundwater Survey
-  Ministry of Agriculture and Fisheries 1982
Soil Survey Reports on Wadi Muqshin,Wadi Quitbeet and Hanfeet,Nejd,Salsalah Region.
Soil and Water Management Field Document No.6

表 3.2.3 土壤分析項目および方法

Type of Analysis	Method	No. of Samples
Bulk density, oven dry	By using core Sample of 100cc	48
Distribution of three phase	Be calculated (∵ Soil 2.65 g/cc)	48
Particle size analysis	gravel >2000 microns	48
	coarse sand 200 ~2000 microns	
	fine sand 20~ 200 microns	
	silt 2~ 20 microns	
	clay < 2 microns	
Texture	International system	48
Water paste saturation %	Volume of water added to soil at saturation	48
Calcium Carbonate (CaCO ₃) %	By gravimetric loss of CO ₂	48
Gypsum %	By increase in soluble Ca + Mg	48
Available Phosphorus (P) PPM	Colorimetric determination	48
pH(1:2.5)	1:2.5 Soil suspension	289
EC(1:5) mS/cm	1:5 Soil water extract	289
Total soluble salts (TTS) %	Be calculated (EC × 0.32)	48
Exchangeable cations (Ca, Mg, K, Na)	Ammonium acetate at pH 7.0	48
	Sodium acetate at pH 8.2	48
Cation exchange capacity (CEC)		
Exchangeable sodium percentage (ESP) %	Be calculated (Ex.Na/CEC × 100)	48
Soluble cations	Flam photometrically (K, Na)	48
	Titration with Versenate (Ca, Mg)	
Soluble anions	Acid titration (HCO ₃)	48
	Silver-nitrate titration (Cl)	
	Precipitation as barium sulphate (SO ₄)	
Sodium absorption ratio (SAR)	Be calculated (Na ⁺ × [0.5(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)] ^{-0.5})	48
Base saturation %	Be calculated (total Ex-cations/CEC × 100)	48
Total nitrogen (N)	Semi-micro method	48
Organic matter	Walkley Method	48

The analyses were carried out by Soil and Water Laboratory-Salalah, HAF

表 3. 2. 4 土壤分類および土地分級

Soil group FAO (1974)	Sub-group	Map code	1/ Landform	Soil Depth cm	Texture	Drainage	pH(1:2.5)	Land Suitability Unit	Extent ha (%)
Fluvisols	Calcic Fluvisols deep 1	1 Jc-d ₁	AT	> 100	Fine SL ~SCL	well	2/ 8.0	S1	40 (0.0)
	Calcic Fluvisols deep 2	2 Jc-d ₂ 5/	w	> 100	gravelly LS~SL	well	8.0~8.5	S2k, S2xs	0 (0.0)
	Calcic Fluvisols deep 3	3 Jc-d ₃	w	> 100	gravelly coarse S	Excessively drain	8.0~9.0	S3x	3,710 (0.9)
	Calcic Fluvisols deep 4	4 Jc-d ₄	AF	> 100	gravelly S~LS	well	8.0	N1x	2,850 (0.7)
	Calcic Fluvisols moderate deep 1	5 Jc-md ₁ 5/	w	50~100	SL	well	8.5	S3kd	0 (0.0)
	Calcic Fluvisols moderate deep 2	6 Jc-md ₂	W-AF	50~100	gravelly SL	well	8.0	N2x	4,735 (1.1)
	Calcic Fluvisols shallow	7 Jc-s	W-AF	30	gravelly S~LS	well	8.0	N2xd	34,740 (8.3)
									46,075 (11.0)
Yermosols	Calcic Yermosols deep 1	8 Yc-d ₁	FA-W	> 100	SL~L	well	8.0	S2k	16,130 (3.9)
	Calcic Yermosols deep 2	9 Yc-d ₂	FA	> 100	gravelly LS	Excessively drain	8.0	Sc2x	5,450 (1.3)
	Calcic Yermosols moderate deep 1	10 Yc-md ₁	FH	50~100	SL	well	8.0	S2kd	2,850 (0.7)
	Calcic Yermosols moderate deep 2	11 Yc-md ₂	FR	50~100	gravelly SL	well	8.0	S3xd	19,700 (4.7)
	Calcic Yermosols shallow	12 Yc-s	FA	15~30	SL	well	8.0	N2d	263,355 (63.0)
	Gypsic Yermosols deep	13 Yy-d	AF	> 100	L	moderate well	8.0	S3s	2,465 (0.6)
	Gypsic Yermosols shallow	14 Yy-s	ET	20~30	gravelly SL	well	8.0	N2xdt	20,657 (4.9)
									330,707 (79.1)
Solonchets	Orthic Solonchets deep	15 So-d	FA	> 100	L	imperfect	8.0	S3h	1,580 (0.4)
Solonchaks	Orthic Solonchaks moderate deep	16 Zo-md	D	50~100	gravelly SL	moderate well	8.0	N2xdt _s	2,480 (0.6)
Regosols	Calcic Regosols deep	17 Rc-d	RAT	> 100	fine LS	Excessively drain	7.5 ~ 8.0	S3x	4,480 (1.1)
Lithosols	Lithosols very shallow	18 L-vs	ET	< 10	SL	well	-	N2xd	32,778 (7.8)
									418,100 (100)

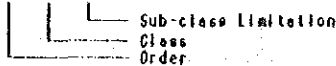
1/ Landform

- ET : Eroded gravel terraces and hills
- RAT: Recent alluvial terrace, outwashfan, collan deposits
- AT : Alluvial toeslope
- AF : Alluvial fan
- FA : Flat plain on old alluvium
- FH : Flat plain on weathered marl
- FR : Flat plain on hard rock
- D : Degraded gravel terrace on bedrock plain
- W : Wadi

2/ pH paste

3/ S S X

(See TABLE 3.2.6)



4/ In case of complex soil units (ex. Jc-md₂ /Jc-s), the extent is calculated with even in each soil unit as follows;

$$\text{Jc-md}_2 / \text{Jc-s } 100\text{ha} \xrightarrow{\text{divide equally}} \begin{matrix} \text{Jc-md}_2 & 50\text{ha} \\ \text{Jc-s} & 50\text{ha} \end{matrix}$$

5/ Jc-d₂ and Jc-md₁ occur outside the study area.

图 3.2.5 土壤图

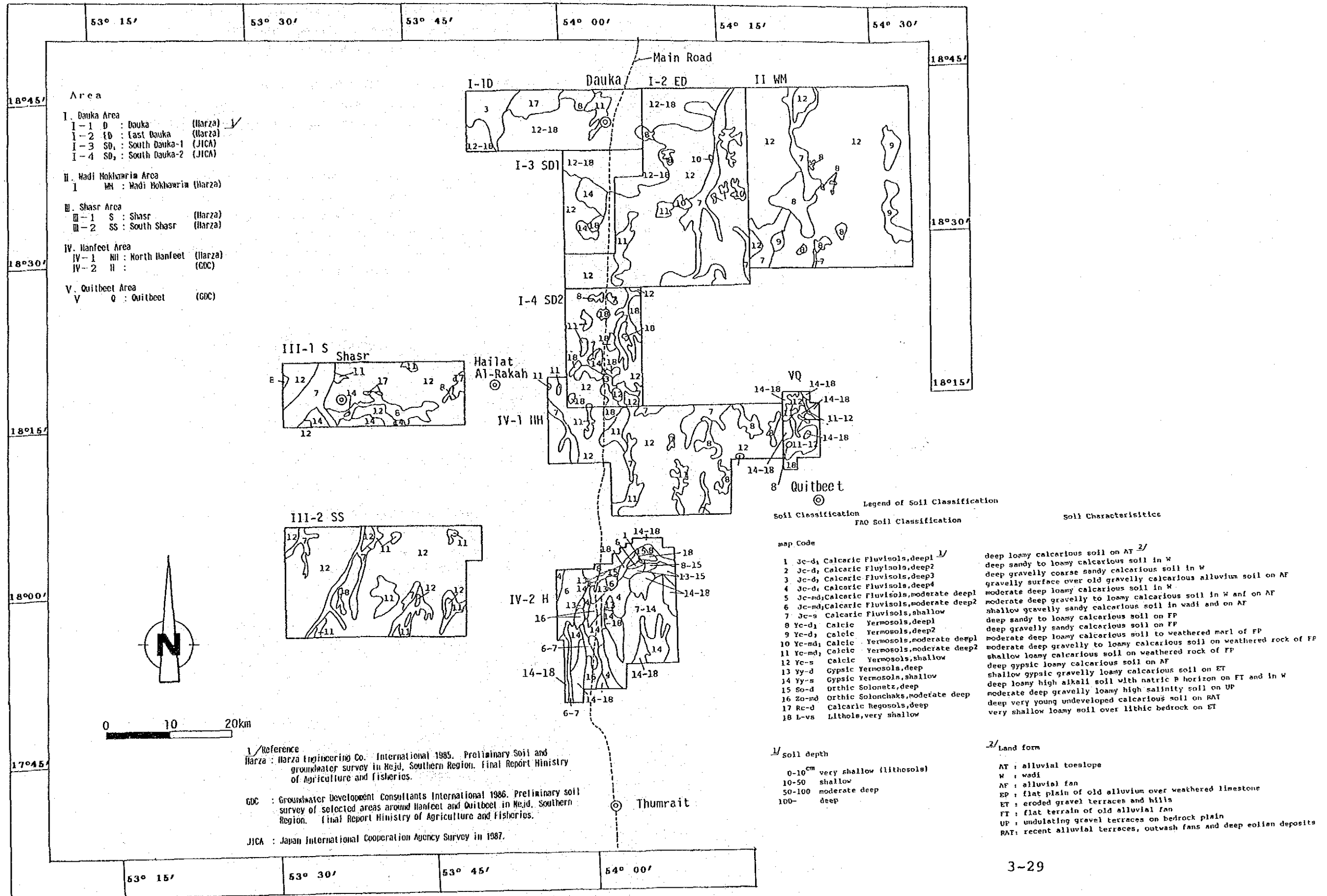


表 3.2.6 土地分級基準

Order	
S Suitable	: Land on which sustained use of the kind under consideration is expected to yield benefits which justify the inputs without unacceptable risk of damage to land resources.
Class	
S1 Highly Suitable	: Land having no significant limitations to sustained application of a given use, or only minor limitations that will not significantly reduce productivity or benefits and will not raise inputs above an acceptable level.
S2 Moderately Suitable	: Land having limitations which in aggregate are moderately severe for sustained application of a given use; the limitations will reduce productivity or benefits and increase required inputs to extent that the overall advantage to be gained from the use, although still attractive, will be appreciably inferior to Class S1 land.
S3 Marginally Suitable	: Land having limitations which in aggregate are too severe for sustained application of a given use and will so reduce productivity or benefits, or increase required inputs that this expenditure will be only marginally justified.
Sc2 Conditionally Suitable	: Land having a conditional suitability for agriculture or they are limited to a special agriculture use.
Order	
N Not Suitable	: Land which has qualities that appear to preclude sustained use of the kind under consideration.
Class	
N1 Currently Not Suitable	: Land having limitations which may be surmountable in time but which cannot be corrected with existing knowledge at currently acceptable cost; the limitations are so severe as to preclude successful sustained use of the land in the given manner.
N2 Permanently Not Suitable	: Land having limitations which appear so severe as to preclude any possibilities of sustained use of the land in the given manner.

FAO(1976)

Sub-Class Limitation

x : coarse textures in the root zone, and associated low fertility

k : high calcium carbonate

d : effective depth of the soil limited by bedrock or very gravelly substrate

t : topographic limitation of sloping land on bedrock landforms and terraces

s : high salinity in part of the profile

n : high exchangeable sodium percentage in part of the profile

GDC(1986)

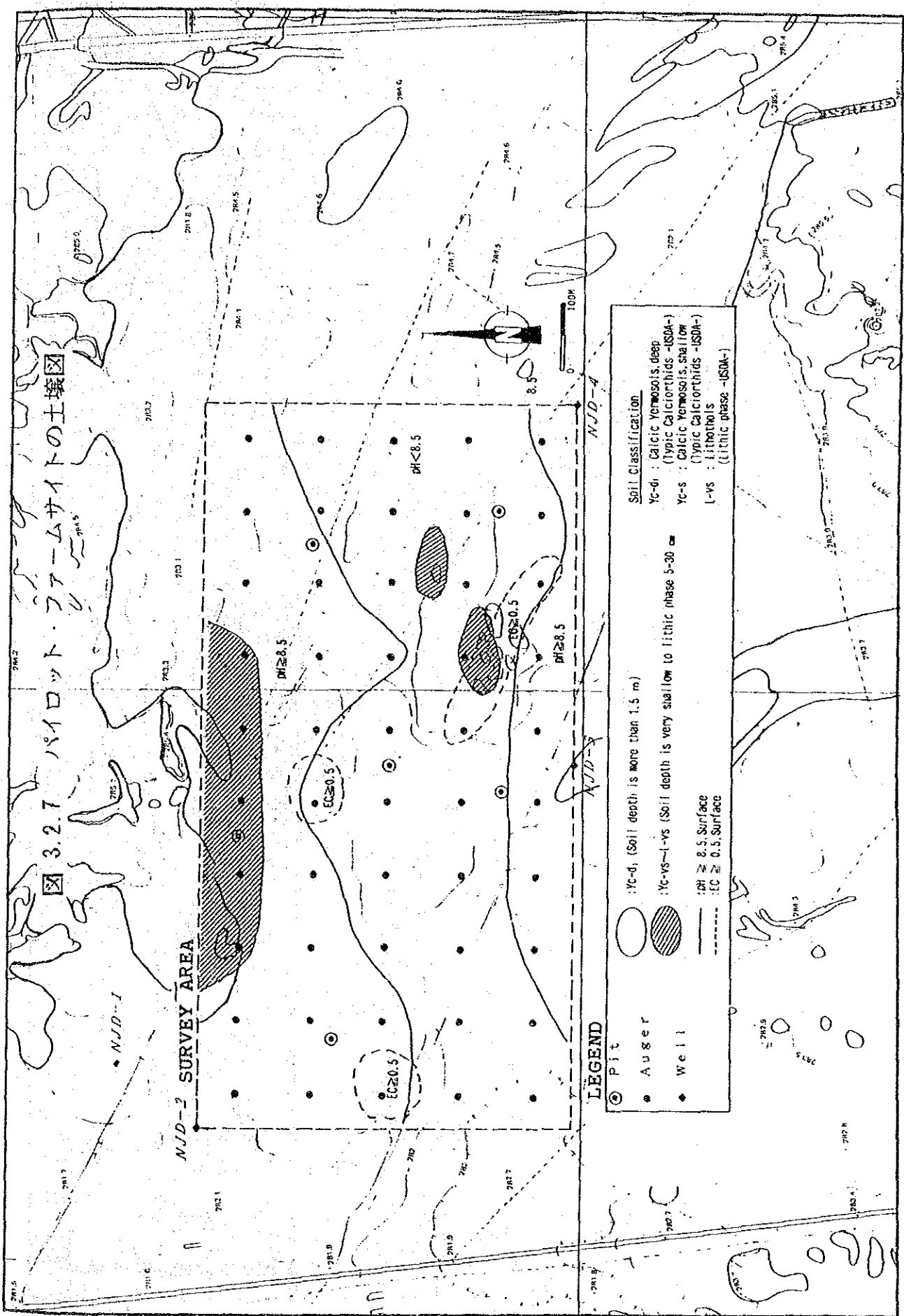
表 3. 2. 7

表 3. 2. 7 調査地区別土地分級の分布面積

Order	Class	DAUKA AREA				WADI MOGHARRIM AREA		SHASR AREA			HANPEET AREA		QUITBEET AREA		TOTAL
		DAUKA	EAST DAUKA	SOUTH DAUKA -1	SOUTH DAUKA -2	WADI MOGHARRIM	SHASR	SOUTH SHASR	NORTH HANPEET	HANPEET	QUITBEET	QUITBEET			
S	SI	-	-	-	-	-	-	-	-	40 (0.01)	-	-	-	40 (0.01)	
	S2	1,480 (4.8)	3,460 (4.6)	-	620 (2.7)	5,490 (6.5)	4,180 (15.5)	150 (0.2)	2,810 (5.1)	585 (1.5)	140 (1.4)	-	-	18,865 (4.5)	
		8,580 (29.0)	2,930 (3.9)	-	990 (4.3)	-	1,140 (4.2)	6,460 (11.1)	5,840 (10.7)	4,260 (10.7)	420 (4.2)	-	-	30,620 (7.3)	
	Sc2	-	-	-	-	5,450 (6.5)	-	-	-	-	-	-	-	5,450 (1.3)	
Sub Total	10,010 (33.8)	6,390 (8.5)	-	1,610 (7.1)	10,940 (13.0)	5,320 (19.7)	6,610 (11.4)	3,650 (13.3)	4,885 (12.3)	560 (5.6)	-	-	54,975 (13.1)		
N	NI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,850 (0.7)	
	N2	19,590 (66.2)	68,910 (91.5)	16,600 (100)	21,190 (92.9)	73,060 (87.0)	21,680 (80.3)	51,590 (88.6)	45,950 (84.2)	32,265 (80.6)	9,440 (94.4)	-	-	360,275 (86.2)	
		19,590 (66.2)	68,910 (91.5)	16,600 (100)	21,190 (92.9)	73,060 (87.0)	21,680 (80.3)	51,590 (88.6)	45,950 (84.2)	35,115 (87.7)	9,440 (94.4)	-	-	363,125 (86.9)	
Total	29,600 (100)	75,300 (100)	16,600 (100)	22,800 (100)	84,000 (100)	27,000 (100)	58,200 (100)	54,600 (100)	40,000 (100)	10,000 (100)	-	-	418,000 (100)		

(Modification of Harza-1985, and CDC-1986)

3.2.7 パイロット・ファームサイトの土壌図



LEGEND

- Pit
- Auger
- ◆ Well
- (hatched) : Yc-d, (Soil depth is more than 1.5 m)
- (solid) : Yc-s-l-vs (Soil depth is very shallow to lithic phase 5-30 cm)
- (solid) : pH >= 8.5 Surface
- (dashed) : EC >= 0.5 Surface

Soil Classification

- Yc-d : Calcic Yermosols, deep (Typic Calciorthis - USDA-)
- Yc-s : Calcic Yermosols, shallow (Typic Calciorthis - USDA-)
- l-vs : Lithotholis (Lithic phase - USDA-)

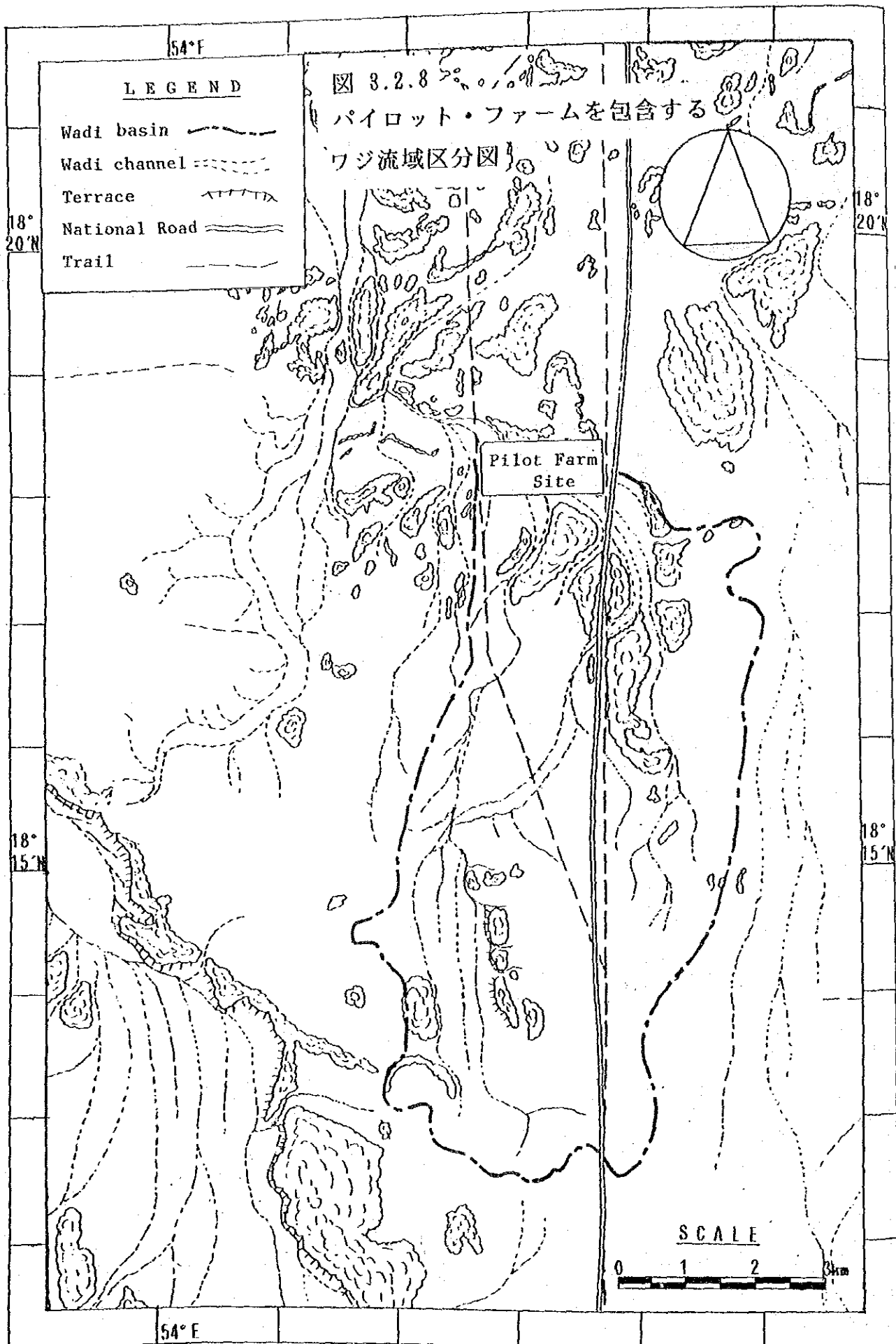
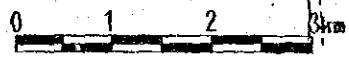


図 3.2.8
パイロット・ファームを包含する
ワジ流域区分図

Pilot Farm
Site

SCALE



3. 3 農 業

3.3.1 ネジド地方の農業

ネジド地方の砂漠・土漠では、厳しい自然環境下で、ラクダ、山羊等の遊牧が行われている。従来、農業としては僅かに井戸、泉を利用したデーツ等の小規模栽培が行われているだけであった。

1980年代になって、地元住民による浅井戸や自噴井を利用した農場の開発が始まり、近年は農場開発面積が小規模ながら急速に拡大しつつある。

とくにハイラト・アル・ラーカとシャスルでの自己投資による浅井戸掘削と農場群の開発およびドーカにおけるセンターピボットによる牧草栽培は、地元住民の高い農業意欲を示している。

また、1985年に40ha規模で始ったPDO試験農場における栽培試験は、砂漠農業の栽培技術を確認しつつある。PDO試験農場では、1987年にはセンターピボットによる60haの牧草栽培が追加され、生産された牧草は地元住民に乾草として販売されている。

3.3.2 作物の栽培および栽培面積

本調査の農業調査による調査地区の栽培面積を表3.3.1に示す。

調査地区内にある4地区の農地面積は、54農場で約390haであるが、この中には将来の耕作予定農場も含まれている。

このうち、農地として土地登録されているのは20農場の128haである。また、いくつかの農場では共同経営が行われている。

シャスルとハイラト・アル・ラーカの一部を除く農場は土壌条件を考慮せずに設置されている場合が多いため塩害の発生している農場が見られる。

しかし、ほとんどの農場がまだ開発途上にあるため、実際の栽培面積は95haである。

作物別の栽培比率は、牧草が52.2%と多く、その他は果樹25.0%、野菜21.3%である(表3.3.2)。この他調査地区他にPDO農場が100haある。

(1) 牧 草

主に栽培されているのは、永年性牧草のローズグラスで、他にアルファルファが小面積栽培されている。

調査対象地域でローズグラスが広く栽培されている理由は以下のとおりである。

- 1) 価格が高く、需要が大きい。
- 2) 収量が多い。
- 3) 収穫後処理がしやすい。
- 4) 耐暑性、耐乾性、耐塩性が高い。
- 5) 土壌構造の改善が期待できる
- 6) 永年性のため労働力が少なくすむ。

ローズグラスはP D O試験農場、ドーカのセンターピボットを利用した農場で大規模に栽培され、その生産物は乾草として地元住民に売られている。他の小規模農家で生産された牧草も自家消費の残りは売られている。

主な栽培品種はCv. Katamboraである。収穫は年約10回で、P D O農場の試験結果から、収量は乾物で年間約40~45 ton/haであった。

アルファルファの収量は乾物で15~17 ton/haであり、ローズグラスのほぼ半分である。アルファルファは収穫後梱包および輸送時に葉が失われ易いため、地元住民に好まれず、その栽培は僅かである。

P D O試験農場では、冬期間のローズグラスの生産性低下を補完するため、イタリアンライグラスの導入試験が開始されている。

(2) 野菜

トマト、スイカ、ナス、タマネギ、キュウリ等多種類の野菜が小規模に栽培されているが、スイカ以外はほとんどが自家消費用である。野菜のかんがい方法は主に畦間かんがいで、一部スプリンクラーおよびドリップかんがいにより栽培され、肥料はおもに家畜糞コンポストが施用されている。しかしながら、近年P D O農場ではスプリンクラーおよびドリップかんがい方式、あるいは遮光施設を利用した野菜導入試験が行われ、その栽培技術が確立しつつある。

(3) 果樹

栽培されている果樹のほとんどがデーツで果樹の作付面積のうち約87%を占め、その他、ライム、バレンシアオレンジ等のかんきつ類も少量栽培されている。しかしながら、シャサル以外で栽培されている果樹は幼木で、まだ収穫がなされていない。

(4) 穀類

小麦、大麦が小面積で栽培されているが、そのほとんどが乾草および緑肥として利用されている。

PDO農場での大麦栽培試験によると、その生産性はオマーン全土平均（2.38 ton/ha）より高い（3.5 ton/ha）結果が得られている。

表3.3.3 はオマーンの主要農業地域であるバートナ地方およびサララ平野での各作物の平均収量およびPDO農場で実施された開墾作物の試験成績を作物とともに示したものである。この表から、アルファルファ、ナスを除きPDO農場で得られた最高収量は各農業地域の平均収量と同程度かまたはそれより高い値を示していることが分る。したがって、作物および栽培技術が確立されれば、ネジド地方での作物生産のポテンシャルは高いと言える。

さらにPDO農場での試験作物のなかで、ローズグラス、トマトは他の2地区と比較し、著しく高い収量をしめしている。

表 3.3.1 農家戸数および農地面積

地 区	農 場 数	農地面積 ha	耕地面積 ha	1農場当たり 農地面積 ha	1農場当たり 耕地面積 ha
ハイラト・アル・ラーカ	42	277.0	69.9	6.60	1.66
ドーカ	5	60.0	17.6	12.00	3.52
シャスル	4	52.5	7.4	13.12	1.85
キトビート	3	0.1	0.1	0.03	0.03
小 計	54	389.6	95.0	7.21	1.76
PDO 農場	1	100.0	92.0	-	-
合 計	55	489.6	187.0	7.21	1.76

注 JICA Team 調査、1989年2月

表 3.3.2 作物別栽培面積比率

地 区	(単位：%)				合 計
	飼料作物	野菜類	果 樹	そ の 他	
ハイラト・アル・ラーカ	47.9	29.9	28.2	0	100.0
ドーカ	86.0	9.0	2.8	2.2	100.0
シャスル	11.4	26.0	47.5	15.1	100.0
キトビート	50.0	0	50.0	0	100.0
合 計	52.1	25.0	21.3	1.6	100.0
PDO 農場	94.8	1.1	4.3	0	100.0

注 JICA Team 調査、1989年2月

表 3.3.3 地域別、収量の比較

地 域	(単位：ton/ha)					
	キャベツ	キュウリ	ナ ス	カボチャ	トマト	スイカ
バートナ*	28.6	17.8	19.0-28.5	16.6-21.4	28.1	23.8
南部地域*	33.1	28.0	20.0	5.2	20.0	21.9
PDO 農場**	14.9-92.3	1.5-18.8	11.8-13.1	2.1-40.3	38.1-124.9	23.9

(単位：ton/ha/year)

地 域	アルファルファ	ローズグラス
バートナ*	90.0-200.0	180.3
南部地域*	180.0	118.5
PDO 農場**	83.3-94.4***	229.1-244.5***

出典：* Economic Development Prospects for the South Region, 1986

** PDO : A Report on Project Development to March 1988

注：*** 生産収量

3.3.3 地区別農業の現況

(1) ハイラト・アル・ラーカ

農家戸数は42戸で、平均農地所有面積は6.6haであるが、平均作付面積は僅か1.7haである。主な栽培作物はローズグラスで、作付面積の約50%を占めている。ローズグラスは一部は乾草として販売されているが、主として自給飼料として消費されている。その他の栽培作物はデーツおよびトマト、スイカ、タマネギ、ナス等の多種の野菜類であるが、栽培は小規模で、生産物は主に自家消費され、一部販売されている。

かんがい用水は、深さ12~30mの浅井戸から汲み上げている。しかしながら、当地区の井戸水は井戸毎の水質変化が大きく、ECが高いばかりでなく、水量も少ない。土壌のアルカリ化や塩害の危険性の高い水質もある。

かんがい方法は主に畦間かんがいで、一部ローズグラス、トマト、スイカ等の栽培にスプリンクラーおよびドリップかんがいが利用されている。

肥料は牛糞、山羊糞、ラクダ糞等の家畜糞コンポストが多量施用され、尿素等の化学肥料もローズグラスに施肥されている。

農業機械はトラクター、バインダーが政府から貸付けられ、共同利用されているが、一部の農家は農業機械を所有している。農場の管理や農作業は外国人にまかされ、農場所有者はサラールまたはサムリートに居住している。

(2) ドーカ

農場は2区域に分かれる。1985年から開設された農家戸数4戸による農場面積が42haの区域および1988年に開設されセンターピボットを利用した18haの規模の農場である。

かんがい用水の水源は、いずれの区域も石油探査で掘削された自噴井を利用して

いる。4戸の農地区域では各農場の平均農地所有面積は10.5haであるが、平均作付面積は僅か1.0haである。

ここでは主な栽培作物はローズグラスで、作付面積の約40%を占めている。その他にサツマイモ、トマト、ナス、キュウリ等の野菜およびデーツが栽培されている。しかしながら、農場内の土壌は土層が薄く、排水が悪いため、作物の生育状況が悪い。

かんがい方法はほとんどが畦間かんがい法で、一部で牧草にスプリンクラーおよび果樹にドリップかんがいシステムが導入されている。農業機械は導入されていない。

肥料は主に家畜糞コンポストが施用されているが、一部化学肥料も施肥されている。

センターピボットを利用した農場は、まだ圃場造成中でありセンターピボットのかんがい可能面積の3/4の13.5haでローズグラスが栽培されていた。

農業機械はトラクター、バインダー等が完備されている。肥料は家畜糞コンポスト、尿素、複合肥料が用いられている。

いずれの農場においても、外国人労働者を雇用し、農場所有者はサララおよびサムリートに居住している。

(3) シャスル

シャスルには古くからの井戸がありオアシスとして知られていた。

古井戸を利用する農地は集落内に6家族共同の1農場、周辺地区に1農場がある。新しく掘削した浅井戸を利用した2農場、計4農場がある。全農地面積は52.5haでそのうち7.4haが作付されている。集落内の農場ではデーツが主に栽培され、作付面積の約60%を占める。その他にナス、キュウリ、サツマイモ、カブ等の野菜およびローズグラス、アルファルファが小規模で栽培されている。集落周辺地区の農場の栽培作物は野菜で、作付面積の約40%を占めている。その他にデーツ、ローズグラスが栽培されている。

かんがい方法は畦間かんがいおよび水盤かんがいで、農業機械は導入されていない。肥料は家畜糞コンポストが施用され、化学肥料の施肥はおこなわれていない。新しい2農場は開設されたばかりで、栽培作物、かんがい方法を現在模索中である。

(4) P D O 試験農場

P D O 試験農場は1985年にカブス国王の指示により、以下の目的のために設立された。

- a) オマーンの農業政策に沿った砂漠で栽培し得る経済的な作物の検討
- b) 最適な農業開発規模の検討
- c) 山羊の生産技術評価

設立当初の圃場面積は38haで、1987年にセンターピボットシステムかんがい圃場60haが増設され、合計100haの規模になっている。主な研究項目は以下である。

- a) 作物の導入および栽培試験
- b) 土壌の追跡調査
- c) 地下水資源の観測調査
- d) 山羊の肥育効率
- e) 当該地区の土壌調査
- f) 気象観測

ローズグラスを主とした飼料作物は、作付面積の95%を占め、野菜、果樹も栽培されている。生産されたローズグラスは遊牧民および市場に販売され、野菜は主として隣接する石油基地で消費され、一部は販売されている。

3.3.4 作付体系

一般的にネジド地方は、パートナ、サララの農業地帯とは、その自然環境が著しく異なるため、既存の作付体系を応用することは不可能である。

現在まで、調査地域の作付体系は確立されておらず、いも類の作付は苗蔓の生産にあわせ作付されるなど、既存農場での作付時期は多様である。

しかしながら、1986～87年にP D O試験農場でトマト、キュウリ等の野菜の作期試験が行なわれているので、その結果(図3.3.1)と、最高収量とその約1/2の収量を示す範囲の作付カレンダーを図3.3.2に示した。

図3.3.1から、各作物とも作付時期をずらすことにより収量が大きく変化し、さらに作物ごとに作付時期が収量にあたる影響が大きく異なっていることが分る。一般的にP D O試験農場での適切な播種時期は10～11月で、それ以後の播種は生育初期に冬の低温の被害を受けるので、収量を著しく減少させる。さらに、7～8月の夏期は著しい高温のため、多くの作物がその被害を受け、栽培が困難であるが、スイカ、オクラ等は夏作もおこなわれている。

図 3.3.1 PDOファームの作期試験結果

作物	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	収量	備考
トマト				5.7(6月)									ton/ha	N P K
				5.9									124.8	87
						0.4							39.5	101
					4.9								53.8	110
							5.4						48.7	84
							5.2						38.1	93
							4.9						38.1	87
キュウリ			4.3										14.3	90 20
			4.0										18.8	74
			3.8										8.6	70
			3.7										7.5	73
						4.7							3.4	64
						4.2							6.5	77
													1.5	72
カボチャ			3.6										40.3	62
				4.2									24.3	73
				3.8									7.6	65
						4.4							7.0	75
						4.4							3.2	76
						2.3							2.1	57
ドーモロ コン													5.7	44
													3.4	51
													3.6	51
													0.8	49
キャベツ													27.2	61
													32.3	74
													14.9	69
カリフラ ワー													22.0	81
													14.3	75
													6.9	67

注： N,P,K — 施肥量, g / plant
 出典： PDO, The Desert Agricultural Project,
 A Report on Project Development to March 1988, April 1988

図 3.3.2 ネジド地方の野菜類栽培適期

作物	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
トマト													
キュウリ													
カボチャ													
ドーモロ コン													
キャベツ													
カリフラワー													

注： 最大収量の約 1/2 の収量が得られる範囲
 出典： PDO, The Desert Agricultural Project,
 A Report on Project Development to March 1988, April 1988

3.3.5 投入資機材

(1) 肥料

1) 有機質肥料

政府は有機物肥料の施用を重視し、購入時に25%の補助金を出している。したがって、各農場とも、播種床の造成時に牛糞、鶏糞等の有機質肥料を1~2 ton/haの割合で施用している。これらの有機質肥料の殆どは乾燥し袋詰めにしたものを山岳地、サララから運んできたものである。自給有機質肥料としてラクダ糞も利用されている。PDO農場では麦類を栽培し、緑肥としてすき込んでいる。

2) 化学肥料

化学肥料は僅かに既存農場の約1/3の農場で施肥されているにすぎない。施肥されている主な化学肥料は化成肥料(15-15-15)、尿素、硫安、重過リン酸石灰である。

PDO農場での肥料施肥量と施肥方法を下表に示した。

播種床および基肥としては速効性の硫安および重過リン酸石灰が施肥され、追肥は液肥として施肥されている。PDO農場では土壌のカチオン交換容量が低く、養分保持力が低いため分施している。かんがい水のカリ含有量が高いためカリ肥料の施肥はおこなわれていない。

表 3.3.4 肥料施肥量と施肥方法

	Nitrogen (N)	Method	Phosphorus (P2O5)	Method
Perennial Grasses	2,000kg/Y	83kg/2W	400kg/Y	100kg X 3-4T
Alfalfa	200kg/Y	2-4T	500kg/Y	200kg X 3-4T
Sorghum, Millet	70kg/M		150kg/M	
Cereals	50kg	in seedbed	125kg	in seedbed
	70kg/4W, 70kg/8W			
Vegetables	20 g	Urea/Plant/W	20 g	/Plant

Y=Year M=Month W=Week T=Times

Source: The Desert Agriculurak Project, A Report on Project Development to March 1988, April 1988

(2) 病虫害

既存農場の一部では病虫害の発生が見られ、農薬及び小型噴霧器が使用されている。

PDO農場では、湿度の高い施設に病害虫が多発している。

PDO農場で発生している主な病虫害とその対策を下表に示した。

その他に鳥、キツネ、ヘビによる被害もみられる。

表 3.3.5 主な病虫害とその対策

1)- Fungal Diseases					
Fungal	Septoria	Mildew	Late blight	Early Blight	
Crop	Wheat	Barley	Potatos	Tomatos	
Counter-measure	Hi-spor 45	Colixin	Mancozeb need quick action	Polyram-Combi and Callixin	
2)- Insect Pests					
Insect Pests	Aphids	Spider	Green Mite	Tarsonemid Aphids	Caterrpillars Mite
Crop	Wide range	Melons	Veg.,Cereals	Cucumbers	Alfalfa, Tomato
Counter-measure	Dimethoate Malathion	Torque	Dimethoate, Malathion,etc.	Torque	Okra, Melon Ripcord
3)- Insect Pests					
Insect Pests	Mealy Bugs	Shoot Flies	Melon Flies	Melon Flies	Stem Borer
Crop	Date palms	Phodes grass, Cereals	Melon	Melon	Maize
Counter-measure	Dimethoate	Ripcord, Diamethoate		Dimethoate	Ripcord

Source: The Desert Agricultural Project, A Report on Project Development to March, April 1988

(3) 農業労働力および農業機械

農場所有者の多くはサララカサムリートに居住しており、労働力は主として外国人労働者に依存している。しかし農地が集落周辺にあるシャスル等では所有者が農作業に従事している例もある。1農場当りの外国人労働者は作付規模にもよるが平均して1~2名である。農業機械は小規模農場では小型噴霧機を除いてまだ普及していない。

しかし、ハイラト・アル・ラーカでは政府からトラクターとベアラが貸与され、共同利用されている。

ドーカのセンターピボットを使用している農場では、2台のトラクターの他に牧草栽培・収穫用の作業機械が装備されている。

3.3.6 農産物市場

(1) 農産物価格

PAMAPは農産物の価格を毎週新聞で公表している。

1987年における主要農産物の平均価格を下表に示す。

表 3.3.6 地元産品と輸入産品の購入価格

(PAMAP 1987年平均)

種類	地元産品購入価格(R.O./kg)	輸入産品購入価格(R.O./kg)
トマト	0.207	0.173
キュウリ(長)	0.253	0.295
スイカ	0.111	0.104
タマネギ	0.080	0.084
バナナ	0.163	0.383
ライム	0.254	0.354
デーツ	0.318	0.350

(2) 農産物の流通

南部地域における主要農産物の流通を以下に示す。

1) 牧草

山岳地帯の自然草地は過放牧により、100,000頭以上飼養されている牛に対する

現在の畜産牧養力は、約1/4であると推定されている。

自然草地の補完飼料として、輸入原料からの濃厚飼料や牧草の購入に頼っており、生産費の増加が問題となっている。

山岳地帯への飼料供給量は濃厚飼料45,000トン/年、牧草はサララ平野から16,000トン/年とサララから1,200km離れたソハールから2,000トン/年と推定されている。

牧草の多くはローズグラスで、乾草は約R.O. 0.1/kgで販売されている。牧草は畜産家が直接トラックでゾファール家畜飼料会社や牧草生産農家に行き購入しているほかに仮設の市場も立っている。またモンスーンの季節には、サララ平野での牧草供給量が不足するため、PDO農場にも出かけて購入している。

山岳地帯の家畜削減プログラムでは、将来牛の頭数を50,000頭迄に減らす計画である。この場合でも山岳地帯の健全な畜産のためには安定した牧草の供給が不可欠であり、ネジド地方での牧草生産が期待されている。

2) 野菜と果樹

オマーンでは野菜と果実の多くを輸入に頼っているが、ゾファールのココナツ、バナナ、パイナップル等は北部オマーンへ出荷されている。

これら北部オマーンに出荷される生産物はPAMAPによって集出荷及び加工されている。

しかしながら、農家からの生産物の多くは小売業者に販売されておりPAMAPの取扱量はまだ極めて少ない。

3.3.7 農業支援制度

(1) 農業研究および改良普及事業

オマーン全土の農業技術関連機関を下表に示した。農業試験場、畜産試験場および生産農場は、オマーン南部地域ではサララを中心に各1カ所設置されている。

普及センターは、種子、肥料、農薬の供給、農業機械のレンタルサービス、技術の普及等のサービスを行っている。普及センターは、全国に38カ所が配置されているが、南部地域では5カ所（Salalah Center, Taqah Center, Al Hafah & Al Qarad Center, Awqad Center, Dhariz Center）に設置されている。しかし、ネジド地方には農業研究機関および普及センターは設置されておらず、サムリートに家畜防疫ステーションの新設が計画されているに過ぎない。

表 3.3.7 農業技術関連機関

	Whole Country	Southern Region
Research Station		
Agriculture	5	1
Animal Husbandry	3	1
Production Farm	8	1
Extension Centre	38	5
Nursery	4	2

Source: Statistical Year Book, 1988

(2) 農産物の流通組織

農産物の流通は、農産物流通庁 (PAMAP: the Public Authority for Marketing Agricultural Produce) により管轄されている。PAMAPは1981年に以下の目的を掲げ設立された。

1. 農産物増産の促進
2. 農産物の供給および正当な価格の保証

主な役割は以下の通りである。

1. 農家と小売商の連結
2. 農産物の販路の提供
3. 農産物の質、量、需給に関する流通状況の改善

PAMAPの施設としては、全国6ヵ所の流通センター、全国12ヵ所の集荷センター、バナナパッキング・熟成工場、主要都市における小売市場があり、すべてのセンターに冷蔵施設が設けられている。

このうち南部地域にはサララに集荷・流通センター、バナナパッキング・熟成工場が設けられている。

(3) 農業信用金融

オマーン農漁業銀行は農業および漁業開発に対して融資する目的で1981年に設立された。

1983年から1987年の融資実績を表3.3.4に示した。過去5年間の融資件数は5,409件で融資額は16,331千R.Oであった。

融資別に見ると、農場の新設が48%、既存農場の改良が21%、農場の機械化が17%を占める。これらの3項目で全体の85%を占め、農業開発に重点が置かれていることが分る。しかし南部地域に対する融資は2.1%を占めるにすぎない。

表 3.3.8 オマーン農漁業銀行の融資状況 (金融目的別)

単位：千R.O.

Purpose of Loan	1983-1987		Total	1983-1987		Average
	Number	Value	(Va.%)	Number	Value	
Farm Improvement	492	3472	(21.3)	98.4	694.4	
Establishment of New Farms	646	7845	(48.0)	129.2	1569.0	
Farm Mechanization	4035	2811	(17.2)	807.0	562.2	
Livestock	7	23	(0.1)	1.4	4.6	
Agro. Industries and Marketing	3	533	(3.3)	0.6	106.6	
Fisheries	220	1070	(6.6)	44.0	214.0	
Large Projects	6	577	(3.5)	1.2	115.4	
Total	5409	16331	(100.0)	1081.8	3266.2	

Source : Sultanate of Oman, Statistical Year Book, 1988

第 4 章 地下水資源

第 4 章 地下水資源

本プロジェクトにおける地下水調査は図4.1.1 のフローチャートに示すような手順で行われた。各段階における成果はそれぞれの段階での報告書にまとめられている。本章ではそれらを総合して報告する。

4. 1 地下水調査

4.1.1 既存の地下水調査

オマーン国土の約 3 分の 1 を占めるネジド地方は、石油の開発や陸上交通路の整備などの近代的な産業活動がはじまってまだ間がないため、地下水調査は初期の段階にある。

ネジドの地方の初歩的局地的地下水調査はいくつかあるが (Sir. W. Halcrow and Partners (1976) , Sir A. Gibb and Partners (1984) および Harza (1985)) これらに続いて本格的な調査が 2 件行なわれている。

そのうちの 1 件は P D O (Petroleum Development Oman) によるもので、オマーン国内の自社鉱区内について行なっている。その内容はそれまで進めてきた石油探査に付随して行なってきた地下水調査の集大成であるが、その一部にネジド地方を含んでいる。(D. H. Parker, 1985, The Hydrogeology of the Cainozoic Aquifers in the PDO Concession Area, Sultanate of Oman, PDO Report.)

この調査の範囲には本件の調査地域の東側が含まれているが、ネジド地方中央および西部は含まれていない。しかしながらネジド地方の地下水は域外におよぶ大きなシステムを形成しているため、その全体像を把握するために非常に重要な内容となっている。特に今回の報告書で論じている地下水流動体制では、その流出域はネジド域外北東部であるため、この P D O レポートの主要部が関連している。

P D O のレポートが扱っている調査の項目は、地下水理や水文地質から水質化学 / 環境同位体分析に及ぶほぼ完璧なものであるが、掘削された井戸は大部分が実用をめざした給水井であるため、地下水観測の密度は時間的空間的に十分とはいえない。特にネジド地域帯水層の各層毎の特定観測井の数という点では全く不十分である。また、設置された観測井が井戸構造の面で完全であるか否かについては、明らかにされていない。

PDOの調査では、ネジド地方東北部からオマーン中央部にかけての地下水システムの概要が明らかにされているが、ネジド地方の特定の地点で地下水開発を行う際にその水資源評価をするための内容は出されていない。

PAWR (Public Authority for Water Resources) は、1984～1986年にネジド中央部の本件調査の地域とほぼ重なる地域で、13地点において地下水探査井を掘削している。この探査の結果は井戸毎の探査報告としてまとめられている。

探査の対象は第三系の帯水層で、深度は最大 492mに達しており、掘削後は観測井として維持されている。純粹な探査井が約1万5千km²の地域の13地点に掘削されたことはネジド地方としては画期的なことであり、本件調査はPAWRの調査を補間し高度化することを目指した。PAWRの調査では特定の帯水層の水位観測が可能ないように井戸の仕上げが行なわれているばかりでなく、対象外の帯水層に井戸掘削の影響が及ばぬよう最大限の努力がなされている。観測井の地域密度は広大な観測処女地としてはまだ十分ではないが、これらの科学的な配置のおかげで今後の追加観測井や調査井の掘削位置が設定しやすくなっている。また新たな井戸のデータが全体にかかわる意義も大きくなっている。

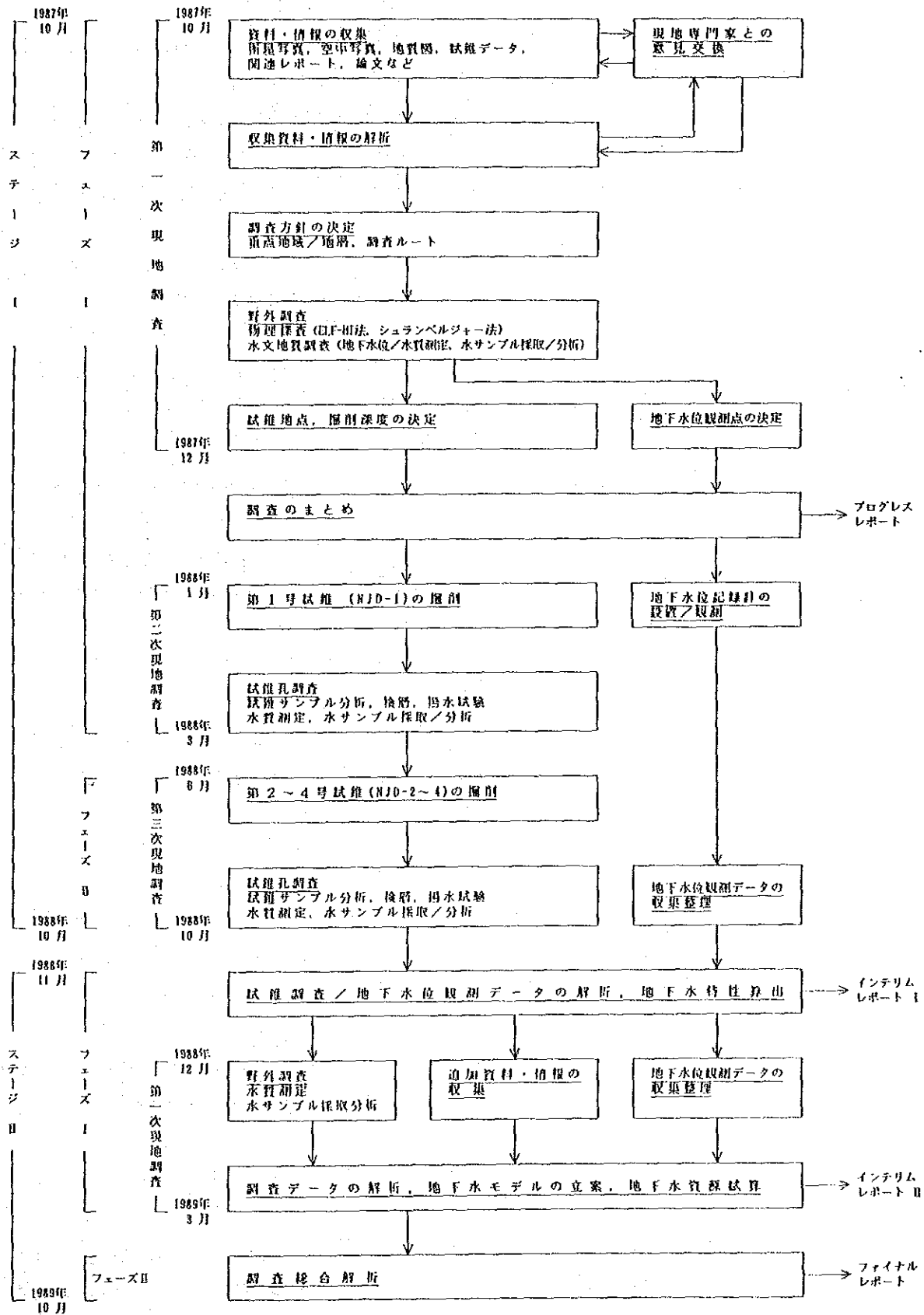
PAWRの井戸掘削と期を同じくして、環境同位体に焦点を合わせた地下水調査がネジド地域で行なわれた。その結果は全国規模の報告書の一部としてまとめられている。(PAWR, 1986, Origin and Age of Groundwater in Oman - Study of Environmental Isotopes, PAWR Report PAWR 86-7)

この調査によってネジド地方の地下水の重要な特徴が明らかにされ、水資源開発に対する制約が明確になった。本件調査が主要な開発対象とした下位UER層の地下水は、調査地域の全域で放射性炭素の含有量が少なく、ほぼ1万年を超える地下水年令であることが知られた。また、それまで涵養域とされてきたゾファール山脈の現在の降水や地下水とは酸素と水素の含有同位体比が大きく異なるために、下位UER層の地下水は現在の水循環からは切り離されていると考えられている。涵養がない地下水であるという条件により、この帯水層の地下水資源は有限であるという考えが有力である。

PAWRのこの調査によって、今後新たな調査井の掘削が試みられる際には環境同位体の分析も行い、さらにデータを増やして地下水の賦存の状態とそれらの相互の関連が追求される路線が確立されたといえる。

本件調査では、以上のような既存の調査成果を考慮して環境同位体の分析を積極的にとり入れることとした。

図 4. 1. 1 地下水資源調査 作業フローチャート



4.1.2 水文地質

オマーン石油鉱物省南部地区石油鉱物総局の協力によって調査地域の25万分の1水文地質図の作成を行った。水文地質図は巻末に示す。

表4.1.1には、オマーン石油鉱物省でまとめた最新の地質区分を、ネジド地方の主要帯水層の存在する第三系に関連する分だけ示した。

ネジド地方の基盤は先カンブリア界であるが、地表の露頭はほとんど第三系で特に暁新統から始新統のハドラマウト (Hadhramaut) 層群の堆積岩類である。地下水水理の面では、中生界以深の地層は帯水層として良好でないといわれている。

第三系の地層は下位から上位へ以下の四地層に区分される。

a) ウム・エル・ラドゥーマ (Umm Er Rudhuma, UER) 層

a-1) 下位UER層

暁新統から始新統初期にかけての海進期の浅海海成層で、頁岩をともなう石灰岩である。

層底はシャンマル (Shammar) 頁岩の名で知られた不透水層からなり、中生界と分離されている。帯水層はこの地層の頂部の溶洞発達部に最も有望な層があるとされている。

a-2) 上位UER層

始新統の海進期の浅海海成層で、チャート団塊やシリカジオードを含む石灰岩からなる。帯水層は水質、水量とも下位UER層に劣る。頂部に溶洞裂カが発達し帯水層をなすことが多い。

b) ラス (Rus) 層

始新統の海退期の浅海海成層で泥灰岩、苦灰岩からなり、石膏などの蒸発残留成分を含み、化石に乏しい。帯水層は貧弱で水質も悪い。

c) ダンマーム (Dammam) 層

始新統の海進期の浅海海成層で大型化石を含む石灰岩からなる。一般に帯水層は貧弱であるが、ネジド北部の露頭地帯には浅層地下水の有望な帯水層が小規模ながら知られている。

d) エイディム (Aydim) 層

ネジド地方の始新統最上部をなす地層で、ソファール山地西翼のカムル (Qamr) 山脈と中央部のカラ (Qara) 山脈頂部にのみ露頭している。大型化石を含む浅海性の堆積物で、石灰岩および泥灰岩からなる。

帯水層は主として炭酸塩岩体のカルストに発達しているため、その発達の条件としてある種の断裂構造の存在が想定される。断裂構造の要因として断層、向斜構造などが考えられる。これらの構造は地表に何らかの線状地形（リニアメント）を展開させると考えられる。調査地のリニアメントとしては、ゆるやかな撓曲構造による地表の緩急斜面の分布、断層にともなうワジの河道パターンの特異性などが挙げられる。

ネジド地方の帯水層は、内部構造を示唆する上記のような地表の形態を伴いながら、北向に緩かに傾斜する単斜構造のもとに広がっている。

現地のフィールド調査に入る前に、1982年作成の25万分の1衛星画像集成写真ならびにその判読図（MAF, Earth Satellite Corporation, 1982）、1983年撮影の6万分の1空中写真（MD, 1983）、10万分の1地形図（イギリス国防省, 1985）、25万分の1地形図（イギリス国防省, 1975）、50万分の1地質図（MPM, Shell, 1968）によって調査地の地形、地質の概査を行った。

これらの概査によって、ネジド地方にはSW-NEおよびSSE-NNWに向いたリニアメントが存在しており、調査地域ではSW-NEのリニアメントが優勢であることを認めた（水文地質図参照）。

SW-NE方位のリニアメントが既存の地質調査結果とどの程度符合するかについて、石油鉱物省（MPM）の地質エキスパートと数度にわたる意見の交換を行うとともに、各種の資料の提供を受けた。

既存の資料の示すところではSW-NEの方位を示す構造は、基盤の先カンブリア界およびその上位をなす中生界のGhudun-Butabul High、ならびにMurbat-Kuria Muria High という大構造として存在する（図4.1.2, 図4.1.3）。

調査地域はGhudun-Butabul Highの真上に位置し、リニアメントはこのHighの北縁をなすKhasfah Flankの断層帯と位置的に非常に近い。しかし既存の地震探査図で第三系までこの断層が達していることを確認できるものはなかった。MPMの地質エキスパートならびにPDOの地質エキスパートによれば、何らかのNeotectonismがKhasfah Flank/Ghudun-Butabul Highに沿って起ったことを否定する根拠もないとのことである。

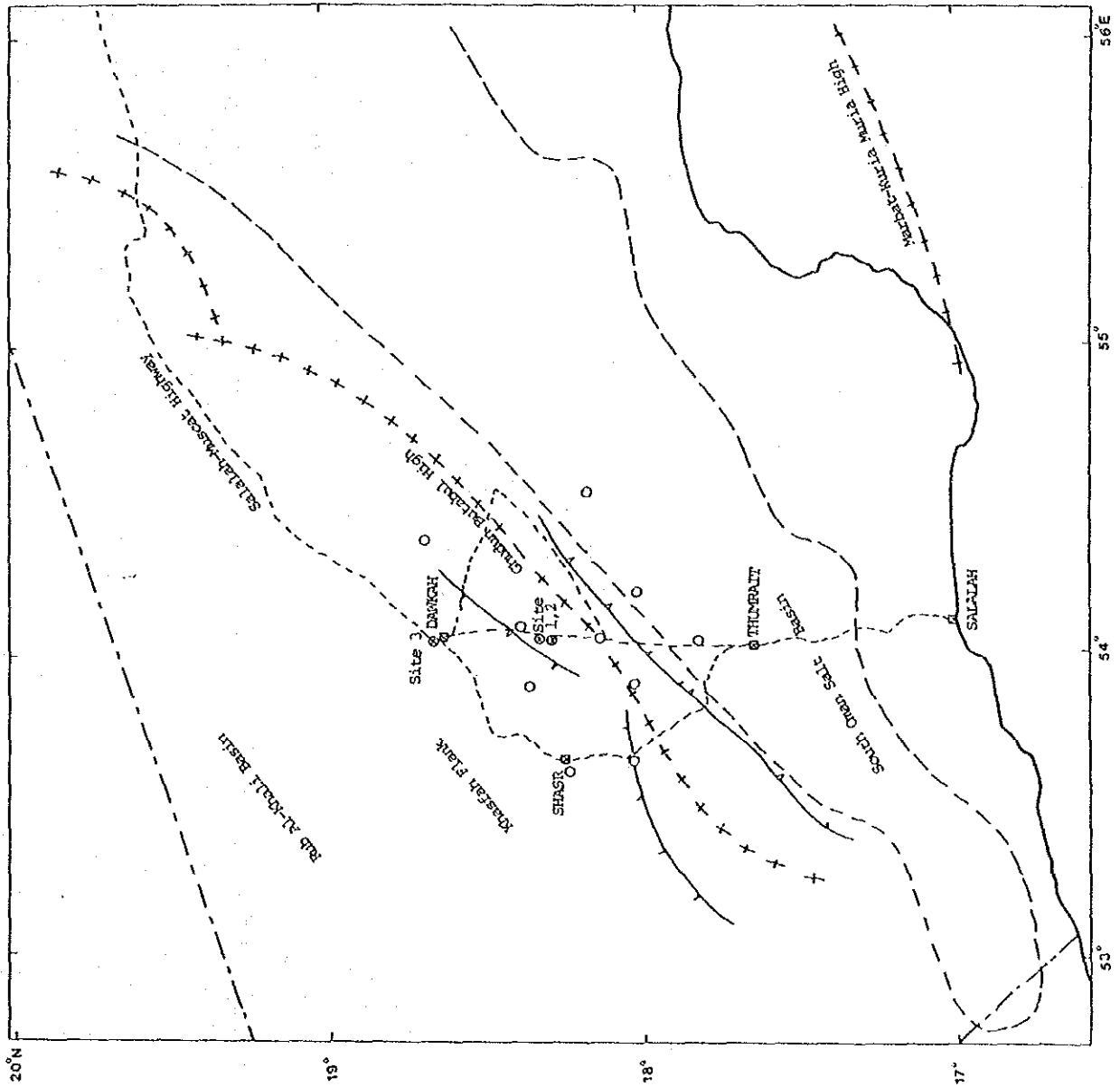
更に、オマーン石油鉱物省南部地区石油鉱物総局から得た他の資料と照合すると、ゾファールの地質構造は、図4.1.4のような広域な地質状況下に展開していることが分った。まず、SW-NEリニアメントの方向は海底地質ではアデン湾のAlula Partak破碎帯の走向上によく一致し、その線上には南西部にUERの大きな露頭が存在する。

また、UER層の層底分布と地下水の流れの関係をみるために、この地域の第三系の層厚分布と比べてみた。この地域は第三系の露頭地帯であり、地形が非常に平坦であるために、層厚分布は近似的にUER層の層底分布になっているからである。この比較によるとSW-NE方向は、ほぼ層底の峰の方向と一致するばかりでなく、その峰の北側に存在することがうかがわれる層底の谷の位置に一致している。また、ゾファール山地からはほぼ東に向うもう一本の層底の谷が存在する。

表 4.1.1 ネジド地方第三系区分

地質年代		地層		岩質		
古第三紀	始新世	Priabonian期	Aydin 類層	Haluf 員層	大型軟体動物および棘皮類化石を含むマイクライト石灰岩、生物石灰砂岩をともなう緑色ないし黄色泥灰岩。	
		Bartonian 初期		Tagut 員層	Meiron 員層	黄色生物石灰砂岩、地層頂部に多量のサンゴ化石、基部に大型軟体動物化石、緑色粘土および泥灰岩をともなう生物石灰砂岩およびマイクライト石灰岩。
				Mosak 員層		
	中新世	Bartonian 初期	Uyun 員層	Dammam 類層	灰色ないしピンクの薄い層状石灰岩もしくはノジュール、生砕石灰岩、大型軟体動物化石を含むがサンゴ化石は少い。	
			Qara 員層		厚い層状石灰岩、ノジュール、生砕石灰岩、大型軟体動物化石を含む。	
		Lutetian 中期	Andhur 員層	白色ないしは黄色生砕石灰岩、緑色泥灰岩、基部にはカキ化石を含むコキノイロ石灰岩の互層からなる黄色頁岩。		
	晩新世	Lutetian 初期	Rus 類層	Gahit 員層	部分的に再結晶した稜理のあるチョーク質苦灰岩、崩壊角礫岩、地層頂部に泥灰岩、生砕石灰岩をともなう層状チャート。層状チャート、生物石灰砂岩の互層をともなう石膏ラミナ層。	
		Ilerdian 後期		Aybut 員層	再結晶の進んだ崩壊角礫岩、および層状チャートをともなうチョーク質苦灰岩。	
				Ilerdian 中期	Mudavy 員層	層状ノジュールチャート、シリカジオード、小型棘皮類化石をともなう薄い層状の白色ないしは黄色のマイクライト石灰岩。
	Thanetian 後期	Er Radhuma 類層	Hasik 員層	頂部では頁岩およびその薄い互層をともなう種々の厚さの層状石灰岩、および灰色から白色の生砕石灰岩、ノジュール石灰岩。層底ではオーム貝化石を含む泥灰岩。		
			Atayr 員層			

図 4.1.2 ネジド地方の構造地質概念図



Legend

Axis of Structural High

Subsurface Fault

Salt Basin Flank

Road

■ City, Town, Village

○ Exploration Bore Hole

⊗ Proposed Development Site

4.1.2

FIG. 3.2.4 Structural Sketch Map of Nejd

(MPM, 1981)

☒ 4.1.3 ネジド地方の地質構造断面概念図

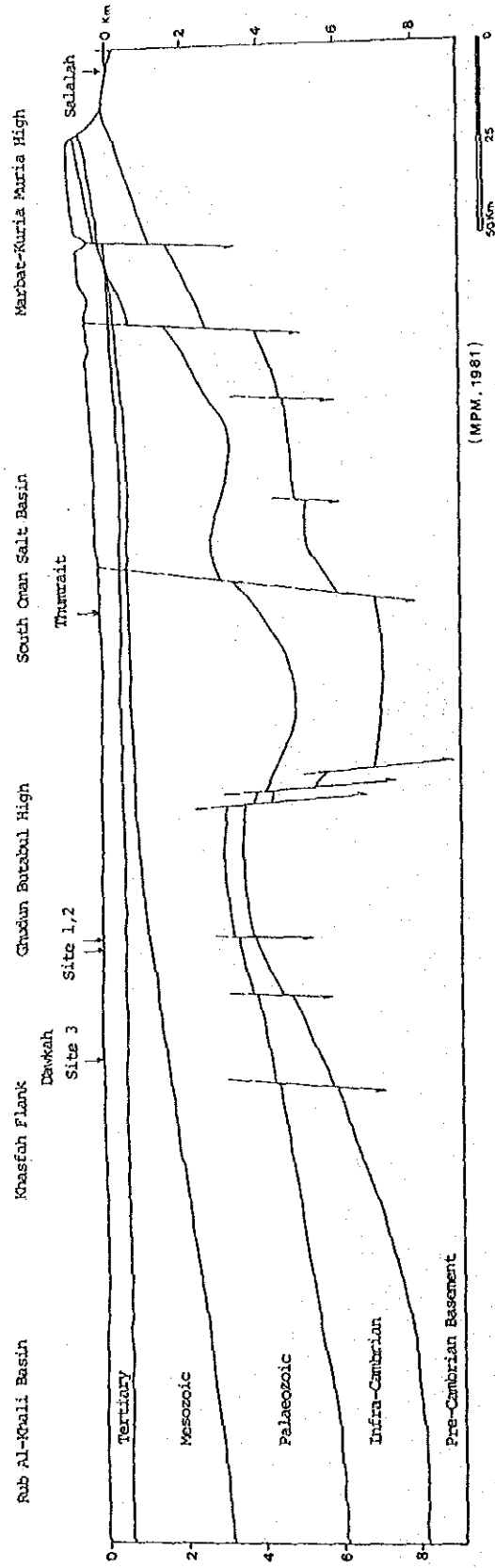
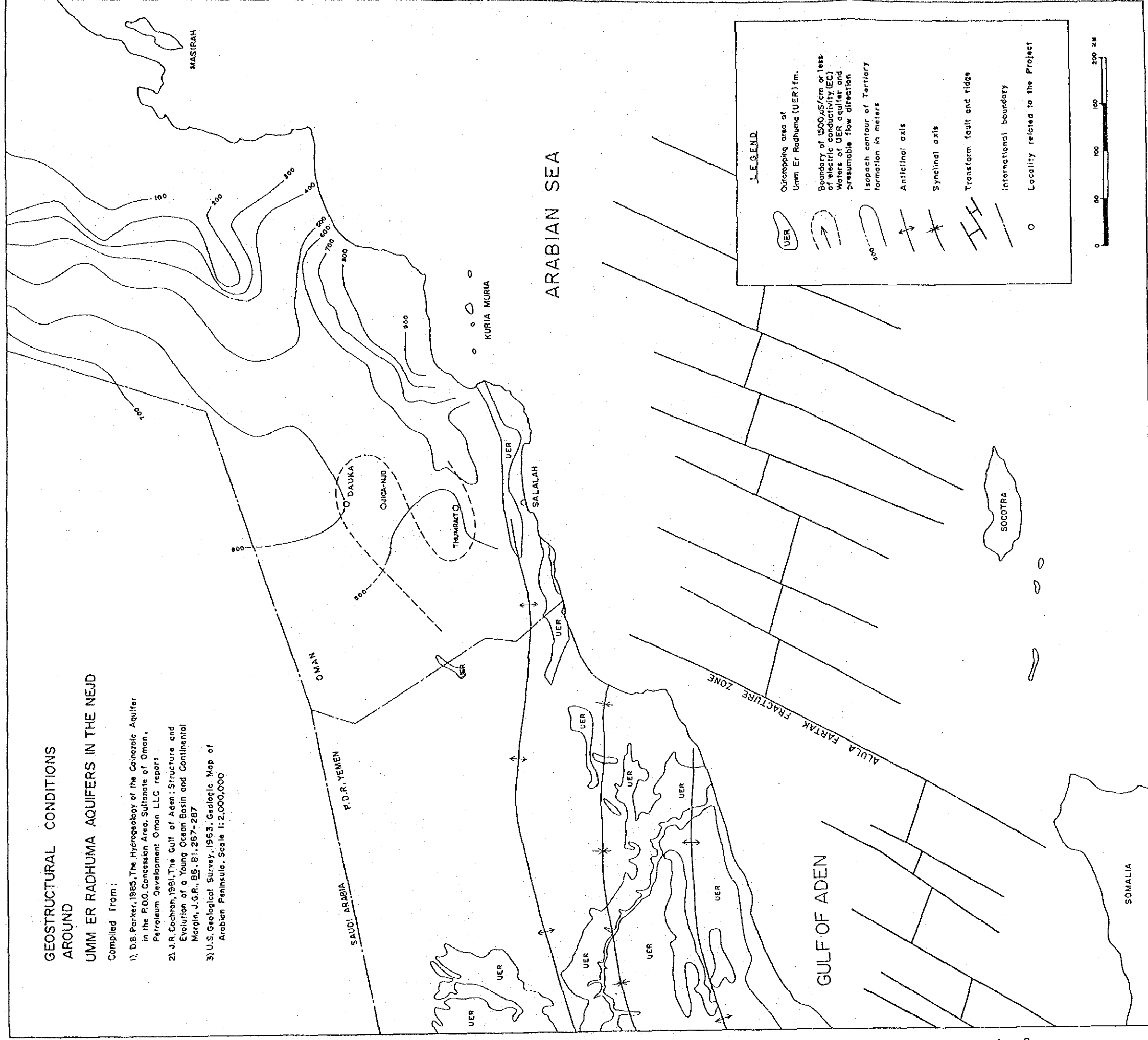


図 4.1.4 ネジド地方UER帯水層周辺の構造地質



4.1.3 地下水水理

本調査では開発有望地であるパイロット・ファーム予定地に4本の試錐（NJD-1, 2, 3, 4）を行なった。それらの相互位置は図4.1.5に示す。

また、これらの試錐によってもっとも水資源として有望な帯水層の揚水試験を実施し、帯水層特性を計算するとともに、孔内検層、微化石分析用掘削サンプルおよび水質分析用水サンプルの採取を行なった。同時に調査地域内の既存井を含む6ヶ所に地下水水位自記記録計を設置し、井戸水位の挙動を長期追跡できるようにした。

(1) 帯水層の区分

前述のPDOおよびPAWRの地下水調査と本調査の結果を総合しながら以下にその区分を述べる。

PAWRと今回の地下水調査によれば、本調査地周辺のネジドの地下水は次の4帯水層に区分される。

A層： ダンマーム層とラス層 0～140m

水質は一般に良好で、電気伝導度（EC）は、 $2,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下のことが多い。ただし、ラス層の地下水の中には、 $10,000\mu\text{S}/\text{cm}$ を越すものがあるほか、全体に資源量は貧弱である。浅層の若い地下水からなるが一部被圧されている。

B層： 上位ウムエルラドゥーマ（UER）層の上層 140～270m

良好な地下水もあるが、泥灰岩層からのものは水質が悪く $2,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上に達する。透水量係数は大きい。全般的に被圧されている。

C層： 下位UER層頂部 270～310(?)m

ネジド全体に広がる大地下水帯である。

水質は良好で、EC $1,500\mu\text{S}/\text{cm}$ 前後である。

還元状態にあり、 H_2S が溶存している。

全般的に被圧度が高く、北部では地表に流出する（水文地質図参照）。

D層： 下位UER層 310(?)m～

C層より水質、水量ともに貧弱である。

水質は、 $2,000\mu\text{S}/\text{cm}$ レベルのものが多く、深度とともに増加する傾向がある。

ネジド地方中央部北寄りに位置する本調査地の状況を、既存のPAWR試錐のデータおよびJICA事前調査団収集の試錐柱状図および今回の結果を用いて模式的に示すと図4.1.6 のようになる。

図4.1.7 は下位UER層の試錐柱状図ならびに各種検層結果である。

これらのうち今回は小型テレビカメラによる孔内状況の観察を試みた。この手法をTV検層と仮称することにする。

TV検層によると下位UER層にはかなり広範にカルストが発達しており、その溶洞には洞径1mを越すものがあることが分った。孔内の溶洞の分布は試錐掘削率、孔径検層、自然ガンマ線検層、電気検層、中性子検層やガンマガンマ検層による地層密度や空隙率の分布ともよく一致していることが分る。

なお、試錐地点では、帯水層は試錐掘削時の出水状況から以下の各深度に認められた。

ラス層	45-55m	水質	2,000~5,000 μ S/cm以上
上位UER層	140-170m	"	2,000~4,000 μ S/cm
下位UER層	280-310m	"	1,500 μ S/cm
	370-	"	-

(2) 地下水流動と水質

PAWRの観測井と本調査の観測井によってC層の地下水の水頭分布および電気伝導度分布が得られた。その結果は、水文地質図に示すが、これらの値から調査地域ではSW-NE方向の地下水流動が有勢であることが分った。

この結果は、PAWRのネジド地下水の放射性炭素年代の分布や、PDOの広域地下水流系分布などとよく一致している。またPAWRの年代分布にもとづいて区分した4つの地下水流系ゾーンとも整合し(図4.1.8)、前節4.1.2で述べた地質構造の分布とも合致する。

水質分析のうち主要化学成分についてゾーンIの値をPiperダイアグラムに記入すると、図4.1.9-(1)のようになる。ゾーンIでは地下水流の上流から下流に向う水質の変化が追跡できるが、下流に向うほどMg⁺⁺/Ca⁺⁺値が増大する傾向が認められる。これは帯水層を構成するドロマイト(Ca・Mg(CO₃)₂)からのイオン溶出によるものと解釈される。

図4.1.9-(2) は、ゾーンⅡ、Ⅲ、Ⅳの水質も加えたゾーンⅠの水質との比較図である。ネジド地方では地下水は流下するに従い一般に非炭酸カルシウム型に変化するが、ゾーンⅡ、Ⅲでは、硫酸イオンの割合がより少なくなるのに対し、ゾーンⅣでは増大する傾向が顕著である。これらの特徴によってもネジドの地下水がゾーンをなして流れていることが推定できる。

一方、安定同位体比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ および D/H の分析によると、ゾーンⅠ、Ⅱ、Ⅳは相互に近接した水質をもっているが、ゾーンⅢはかなり離れた水質であることが分る(図4.1.10)。天然水の安定同位体比は、その水の存在した気候環境を示すと考えられるので、ゾーンⅢは時間的にも空間的にもⅠ、Ⅱ、Ⅳとは異なる涵養域からの地下水であることが推定される。しかし、これらの地下水はサララ平原の地下水とは異っており、明らかにサララ平原の地下水の涵養域であるソフトウェアル山地からは涵養されていないようである。

なお、どのゾーンの地下水もトリチウム濃度は低く、明らかに現在の水の混入はない。また本調査の試錐点 $\text{NJD}-4$ における放射性炭素濃度は 7.82pmC で同じゾーンⅠの約 20km 上流にある PAWR の観測井 ZA035301AA の地下水の 8.24pmC に非常に近く、ほぼ同じ年代(18-24千年)に属するものと考えられる。

水質分析の結果は関連する他の既存データとともにAppendixに掲載した。

(3) 帯水層特性

$\text{NJD}-1, 2, 3, 4$ の揚水試験によるC層の帯水層特性を表4.1.2にまとめてある。

$\text{NJD}-1, 2, 3$ の揚水試験ではお互いに似通った特性がまとまったが、 $\text{NJD}-4$ による揚水試験によるものはあまり整合していない。その理由は後述するが、試錐点での帯水層特性としては、透水量係数は $4.000\text{mf}/\text{day}$ 程度、貯留係数は 4×10^{-5} 程度と推定される。貯留係数は被圧帯水層の数値範囲に入っている。今回の揚水試験では連続揚水試験の際の水位低下特性に帯水層境界の影響が強く現われている(図4.1.11-(1),(2))。これらの図で用いたCooper-Jacobの直線解析法では、帯水層の水平分布に境界がある場合には水位降下線が折線状になることが知られている。図4.1.11-(1)にはその顕著な効果が現われている。帯水層境界が存在すると、帯水層境界によって揚水井の鏡像が現われるが、観測井と揚水井の距離を r_0 、揚水開始後観測井のある一定の水位降下 ΔS までに要する時間を t_0 とし、同様に観測井と鏡像との距離を r_1 、鏡像による水位降下 ΔS までに要する時間を t_1 とすると、これらの間には次の関係が成立する。

$$r_1 = r_0 \sqrt{\frac{t_1}{t_0}}$$

この式によって、いくつかの観測井のデータから鏡像の位置を決定すれば、その位置と揚水井の位置から、鏡面すなわち帯水層境界が決定できる。図4.1.11-(2)では観測井の位置の関係で帯水層境界の影響は複雑にはたらいっており、簡単には分析できない。

4本の井戸の組合せで比較的分析が可能なものから試錐点周辺の帯水層境界を決定した。その結果は図4.1.12に示した。ここで求められた境界の位置と方向は、物理探査や地質構造の特徴とよく一致しておりC層の分布がゾーン状であることを示唆している。

(4) 地下水水位

調査地域内の既存井11井と本件調査の井戸4井を用いてC層の地下水水位分布とその変動を調べた。まず広域の地下水分布特性としては、SW-NE方向の地下水流動がありその勾配は 9×10^{-4} と計算された(水文地質図参照)。また開発予定地内でも広域の流動方向と一致する水位分布がもどまったが、その勾配は 2.3×10^{-4} であった(図4.1.13)。一方、地下水水位の時間変動としては、1987~1989年の比較的長期にわたるものからは $-15 \sim -30 \text{ cm/年}$ の逓減現象が広範に認められ、設置した6基の自記水位計の連続記録からは強い地球潮汐現象が観測された(水文地質図参照)。地球潮汐による地下水水位変化の振巾は約5 cmに及ぶので、静水位観測に当っては注意が必要である。

地下水水位の観測によって得られたこれらの知見は、C層の地下水がゾーンをなす流系下による化石地下水であるとする視点を支持するものである。すなわち、C層は地球潮汐の影響が強くなるほどに広大な被圧地下水層をなし、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ の水頭勾配で地域的な地質構造に沿ってゆるやかに北東の流出域に流れているが、現在は涵養がないために、水頭は逓減中である。このような地質時代的な時間で水位変動をする水頭勾配を残存水頭勾配と呼ぶことにする。

表 4.1.2 プロジェクト・サイトの帯水層水理定数

揚水井	観測井	透水量係数 (m ³ /day)				貯留係数 (×10 ⁻⁵)		
		直線法	標 準 曲 線 法	回復法	平均	直線法	標 準 曲 線 法	平均
NJD-1	NJD-1	—	—	3360	3360	—	—	—
					3.4×10 ³			
NJD-2	NJD-2	—	—	3130	3130	—	—	—
	NJD-1	3790	3900	3860	3850	4.47	3.65	4.06
	NJD-3	4690	3900	4930	4510	4.17	5.97	5.07
					3.8×10 ³			4.6
NJD-3	NJD-3	—	—	3950	3950	—	—	—
	NJD-1	4940	4090	4650	4560	4.54	5.64	5.09
	NJD-2	4940	3440	4400	4260	3.71	5.27	4.49
					4.3×10 ³			4.8
NJD-4	NJD-4	—	—	4370	4370	—	—	—
	NJD-1	4370	4620	4750	4580	2.04	2.78	2.41
	NJD-2	4750	5860	3640	4750	2.41	3.82	3.12
	NJD-3	5570	6630	4840	5680	6.82	7.87	7.35
地域平均					4.8×10 ³			4.3
					4.1×10 ³			4.6

图 4.1.5

图 4.1.5 井戸掘削位置图

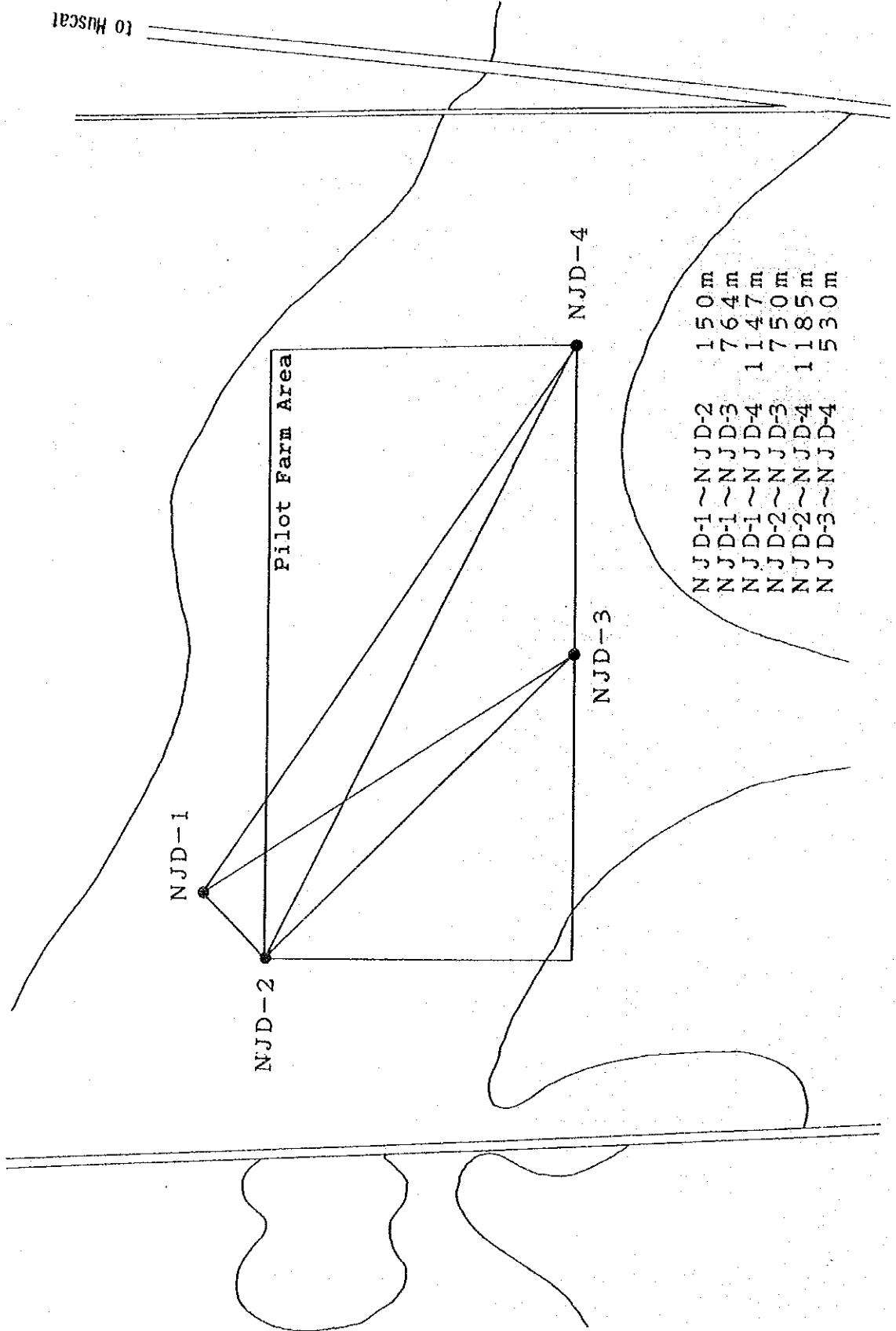


图 4.1.6 調查地域第三系帶水層概念图

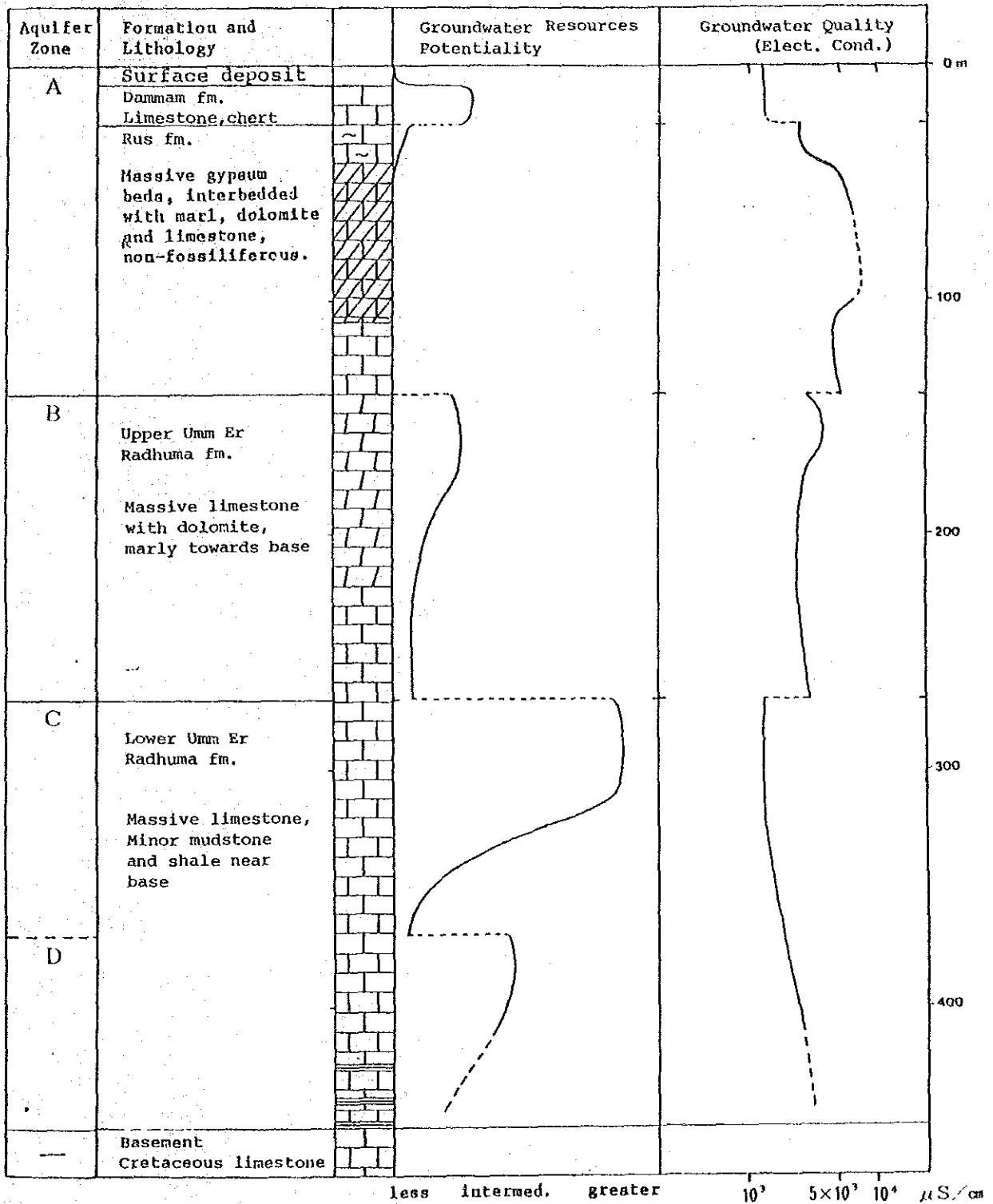


圖 4.1.7 JICA 觀測井 NJD-1, 下位 UER 層孔內檢層結果

圖 4.1.7

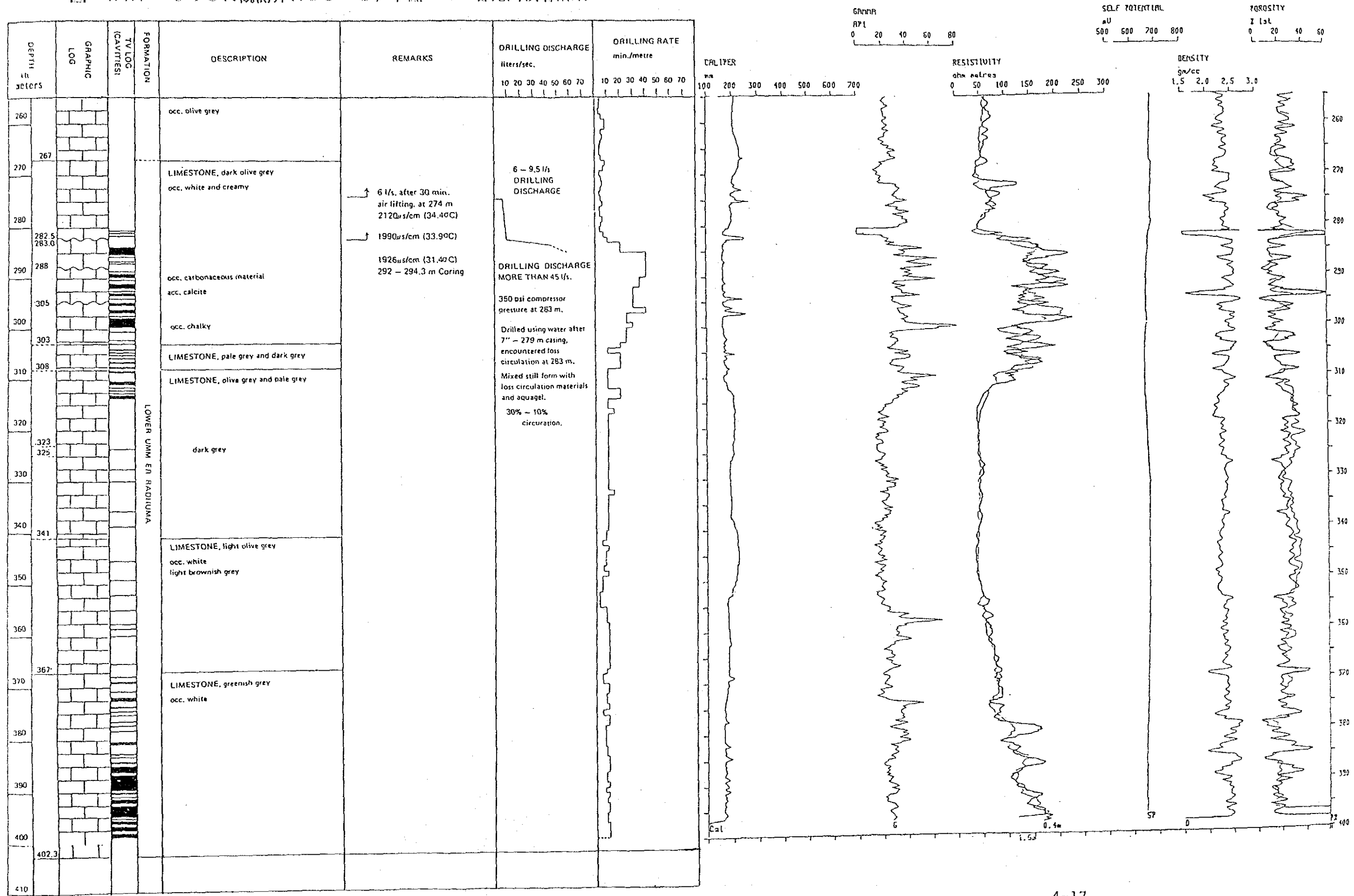
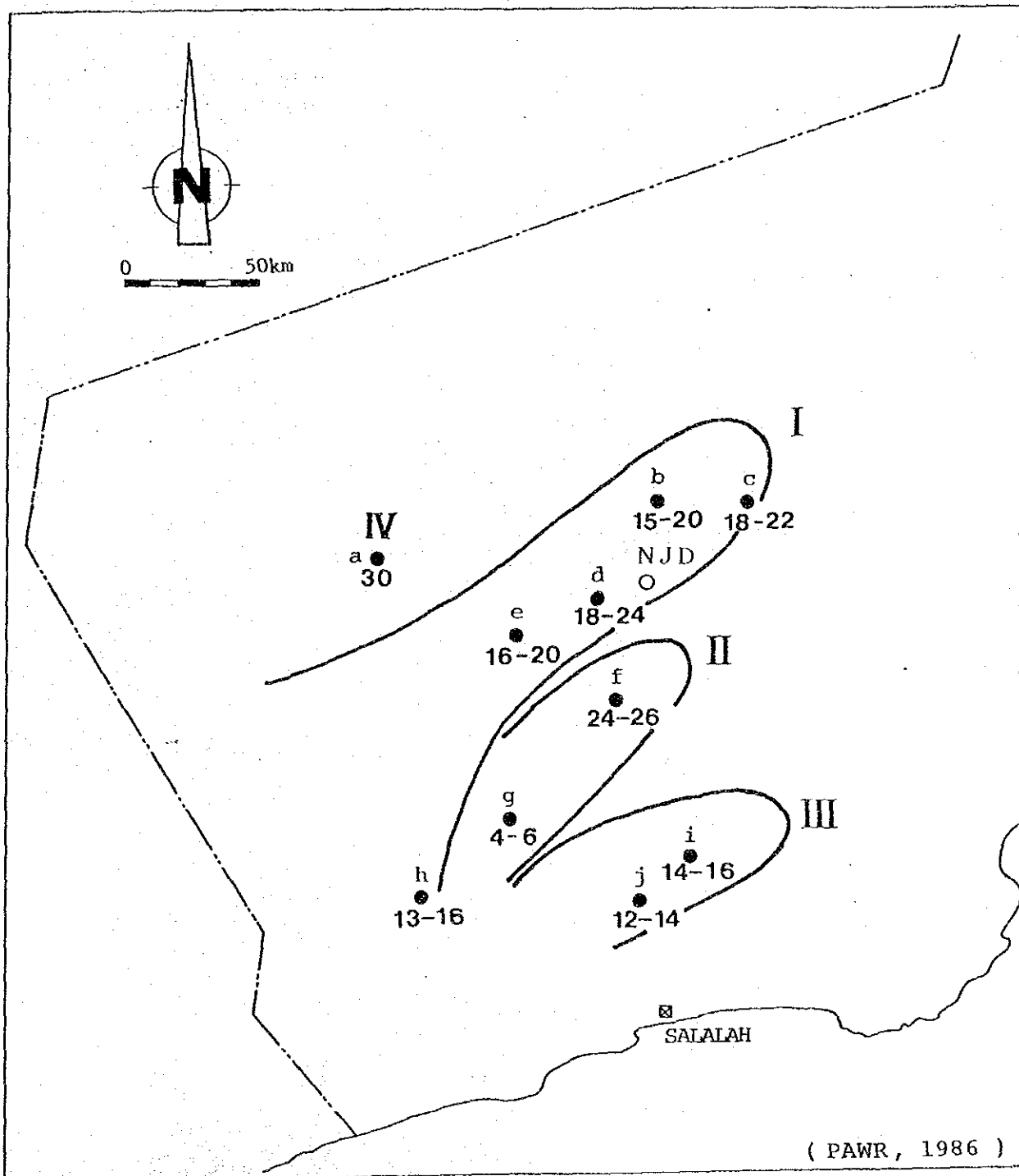


図 4.1.8 ネジト地方の地下水放射性炭素年代（単位：千年）分布と推定流動分布



Bore Hole Identification

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| a. YA243224AA | d. ZA035301AA | g. YV752600AA |
| b. AF961640AA | e. YA715978AA | h. YV424419AA |
| c. BF263460AA | f. ZV099779AA | i. BE045200AA |
| | | j. AE827602AA |

図 4.1.9-(1) ゾーン I 地下水の水質図

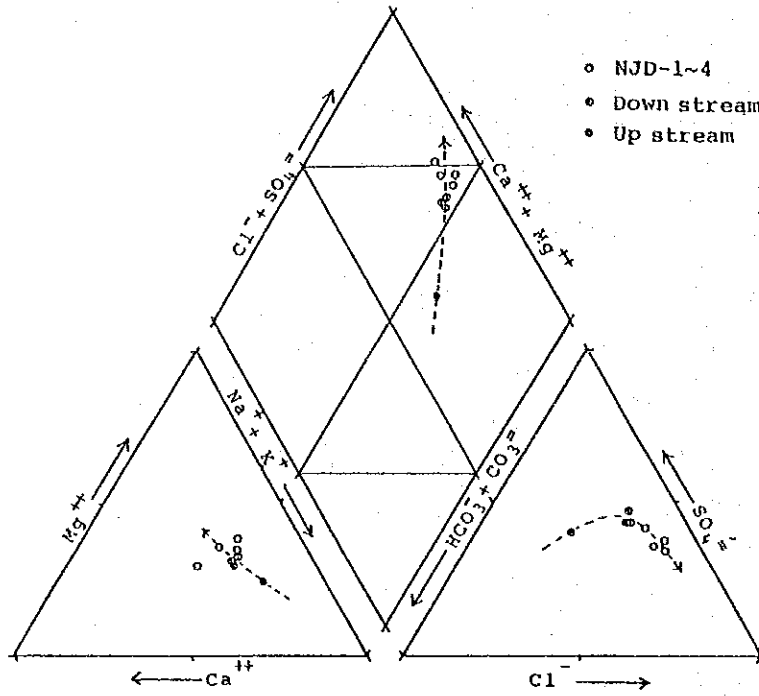


図 4.1.9-(2) ゾーン II、III、IV 地下水の水質図

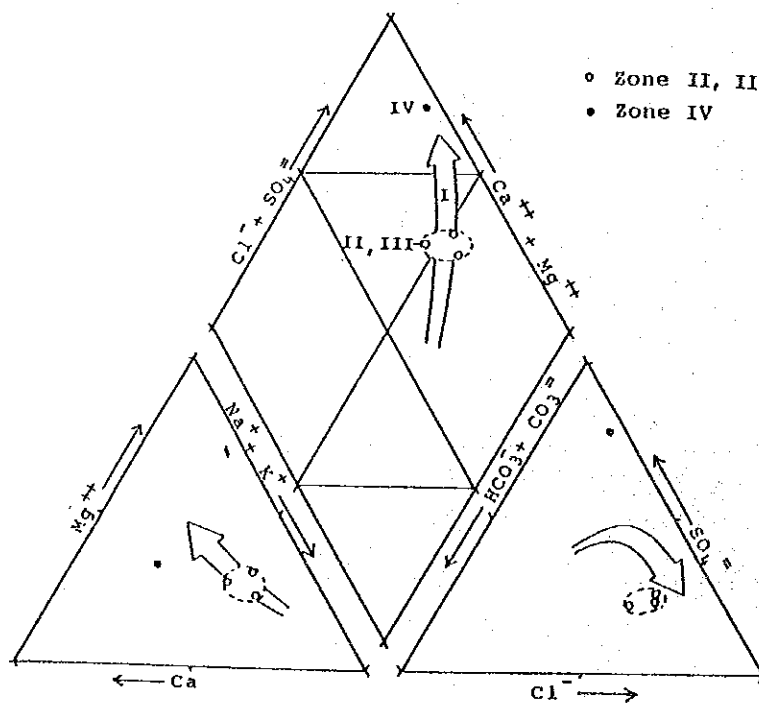


図 4.1.10

図 4.1.10 ネジド地方のC層地下水の流動ゾーン別
 $\delta^{18}O$, δD 分布

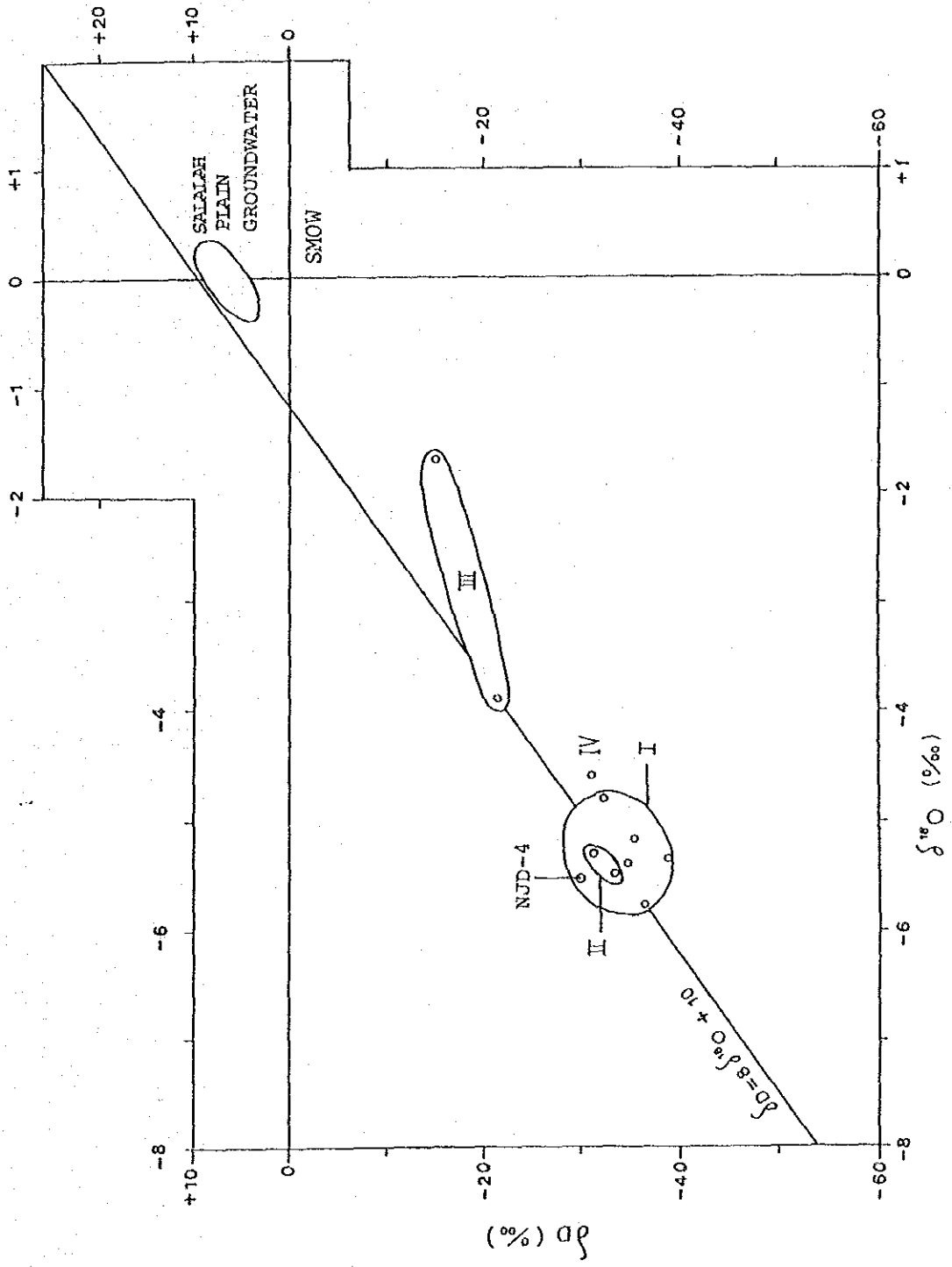


図 4.1.11-(1) プロジェクト・サイトでのNJD-3連続揚水試験 s-t 図

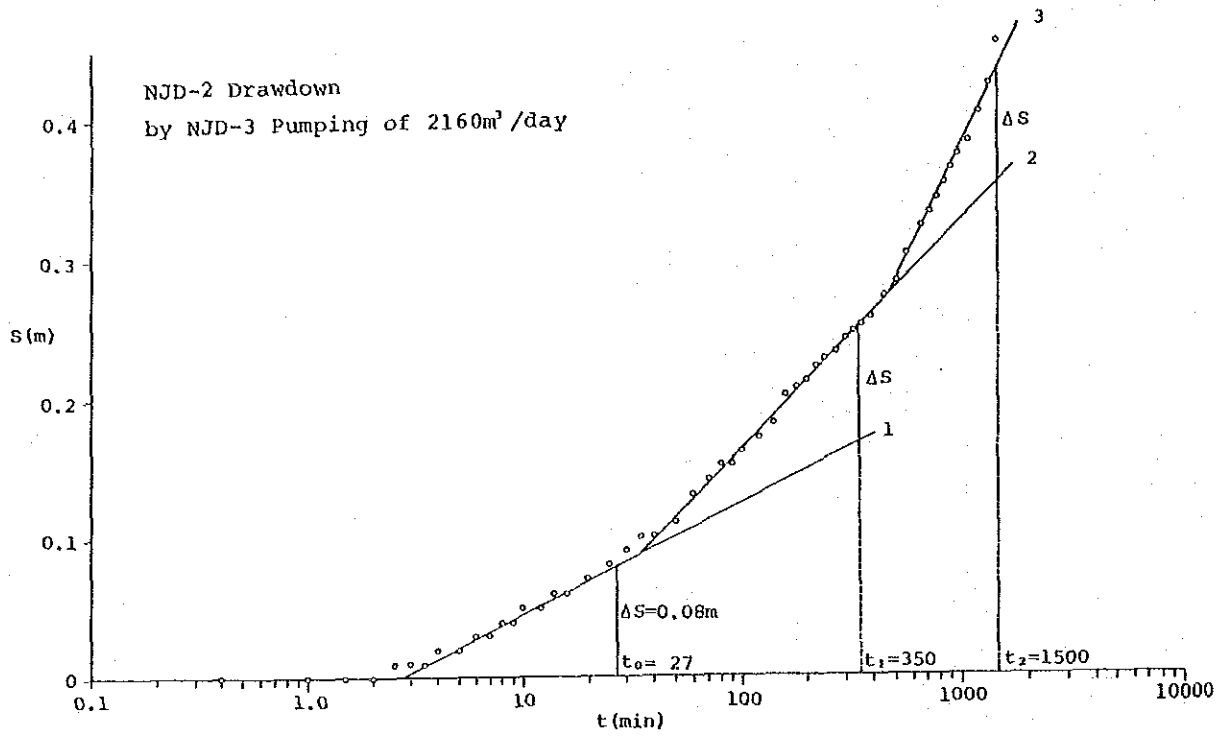


図 4.1.11-(2) プロジェクト・サイトでのNJD-4連続揚水試験 s-t 図

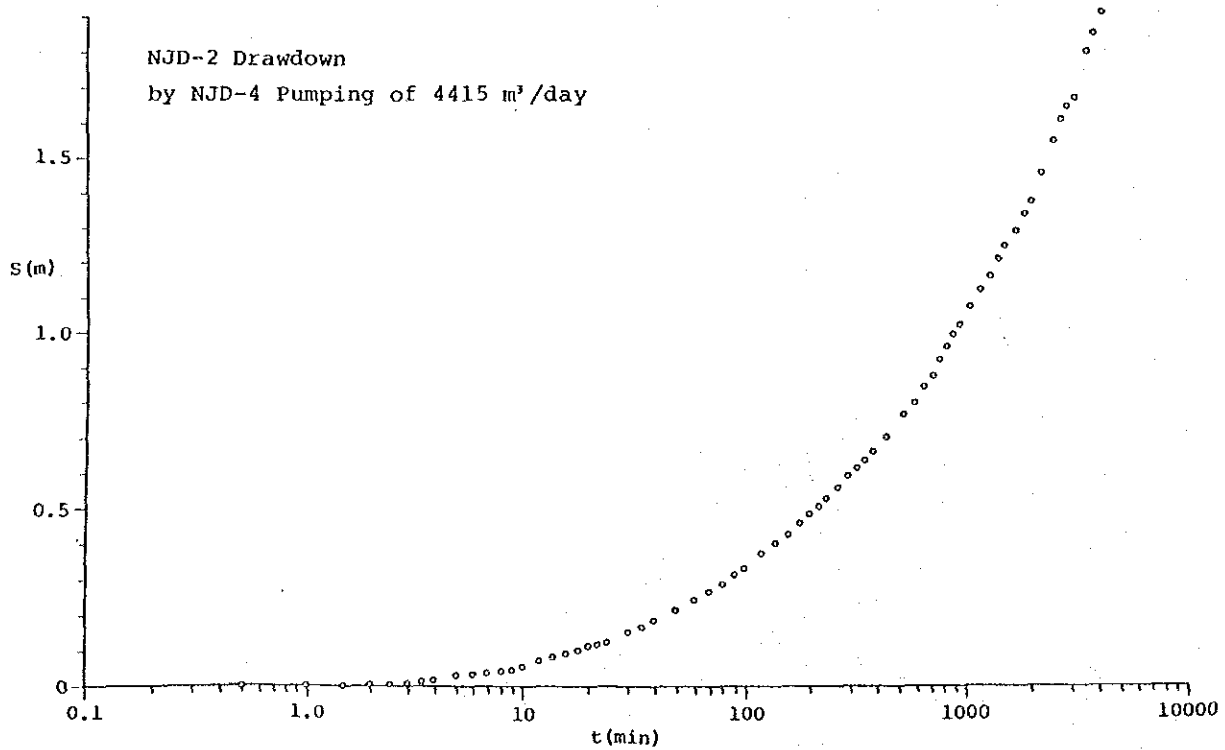


図 4.1.12

図 4.1.12 プロジェクト・サイトの地下水水平境界

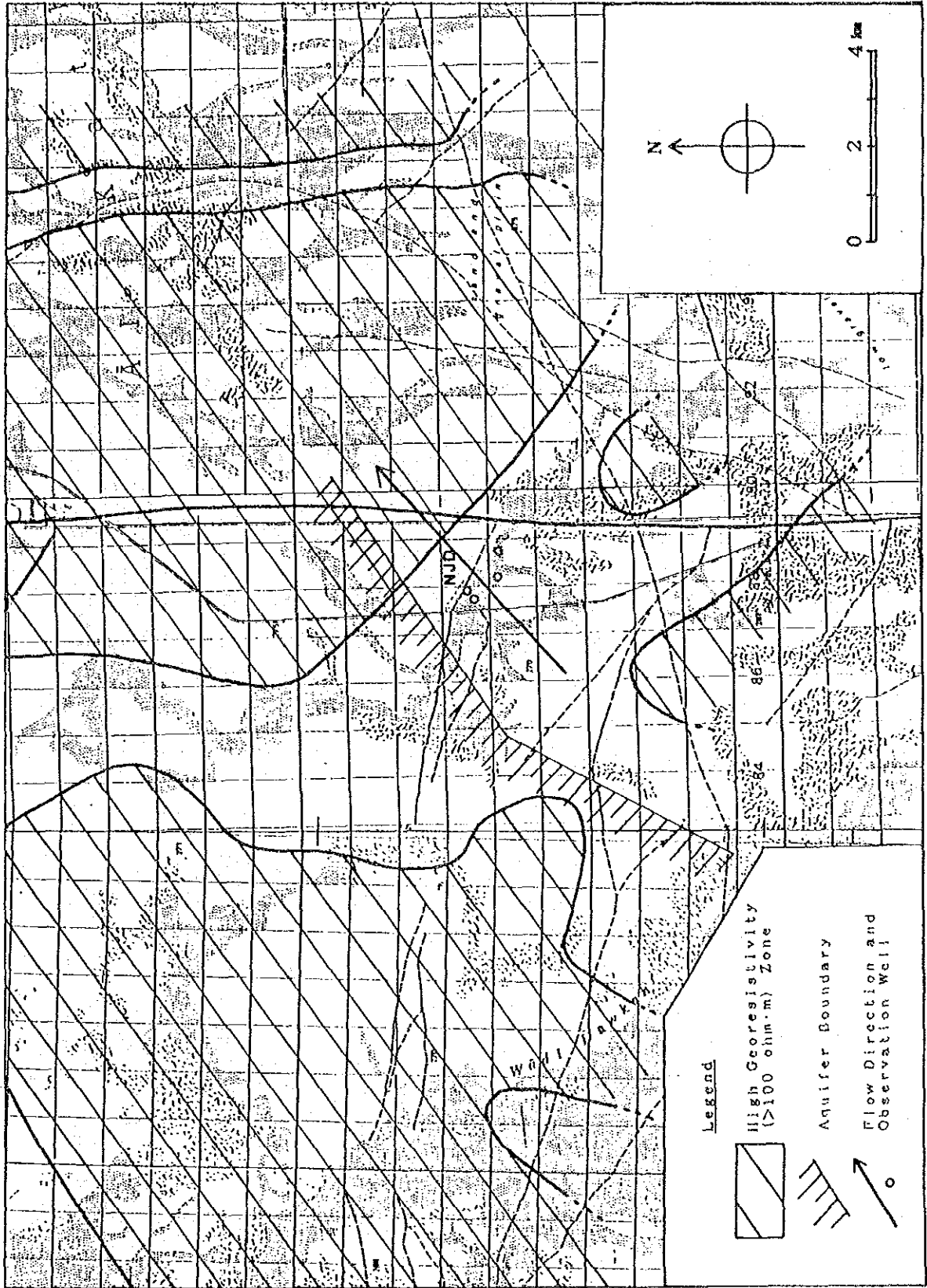
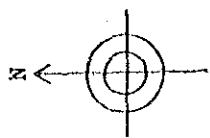
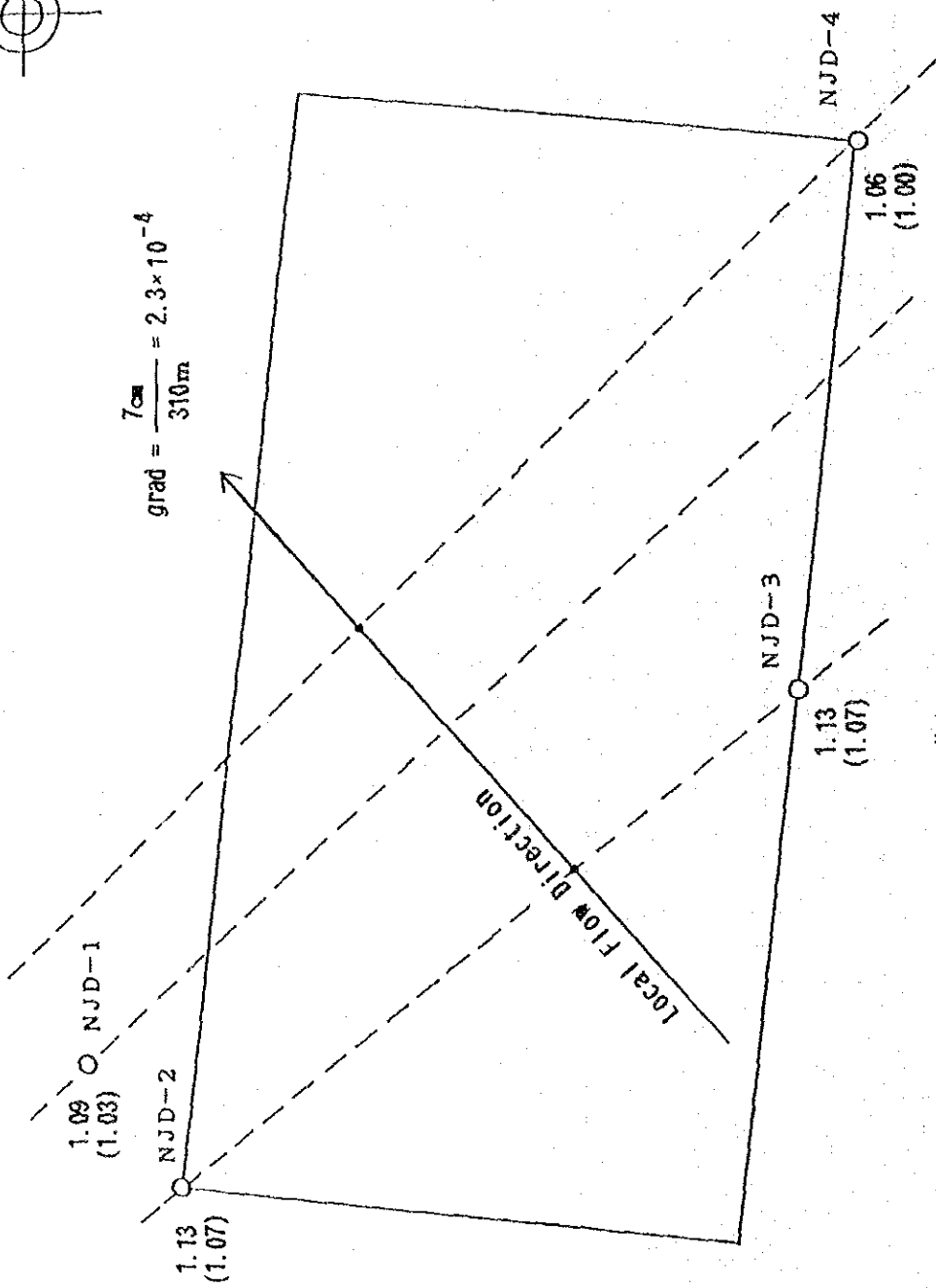


図 4.1.13 プロジェクトサイトでの地下水
水頭分布



$$\text{grad} = \frac{7\text{cm}}{310\text{m}} = 2.3 \times 10^{-4}$$



Note:
Water levels are in meters above tentative datum,
NJD-1 1.09 measured on Jan. 19, 1989
Jan. 21, 1989
(1.03)

4. 2 電気探査

4.2.1 探査概要

(1) 背景

ネジドの帯水層は、古第三紀に属する石灰岩層であるが、これは殆んど水平的な分布をしていることが報告されている。

一方、既存の帯水層試験データによれば帯水層は場所によって透水量係数の変化が大きく、地下水の分布は一様でない。

地下水賦存の片寄り、地下水の集中箇所は、カルスト生成にかかわる向斜構造や断層、断裂帯の発達区域であろうと考えられる。

地下水が局所的偏在を示せば比抵抗変化を伴うことが予想されるので、深度 500 m 程度の電気探査によって、比抵抗異常を検出し得るであろうとのことから、地下水探査として、電気探査が選定された。

(2) 電気探査の方法

ネジドの地下水探査では、電気探査を 2 段階に分けた。第 1 段階として、広域的比抵抗分布の概要を知る目的で、水平探査を実施し、簡易な測定が可能な E L F - M T 法を採用した。

第 2 段階として、第 1 段階で抽出された比抵抗異常地区においてシュランベルジャー法を採用し垂直方向の解析を行った。

1) E L F - M T 法

本法は、自然界に常に存在する E L F 帯の電磁波（シューマン共振現象）を信号源として利用する方法で、互いに直交する電場と磁場の変化を、同時に地表で測定することにより、その測点の見掛比抵抗を求める方法である。

使用出来る周波数は、8 Hz とその高調波であるが、今回は、8 Hz とした。

本方法は、利用周波数が一種類なので、断面解析に難があるが、測定が簡単であるため、広域的水平探査法として探査の初期段階で利用されている。

見掛比抵抗 ρ_a は次式によって求められる。

$$\rho_a = \frac{1.25 \times 10^5}{f} \left(\frac{E_x}{H_y} \right)^2 \quad (\Omega \cdot m)$$

E_x : 電 場

H_y : 磁 場

f : 周波数 (Hz)

探査深度は電磁波の表皮深度 σ で代表される。

$$\sigma = 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (m)$$

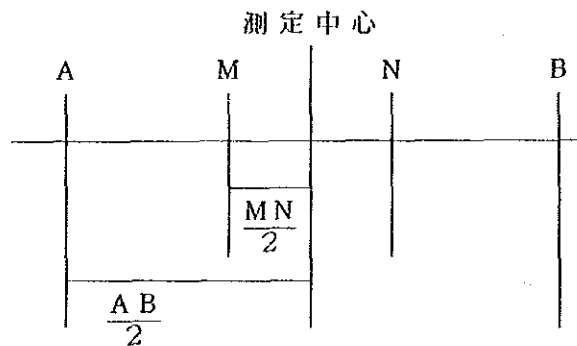
ρ : 大地比抵抗 ($\Omega \cdot m$)

f : 利用周波数 (Hz)

従って、大地の平均的比抵抗 ρ が $8 \Omega \cdot m$ の場合、 $\sigma = 500m$ 、 ρ が $800 \Omega \cdot m$ の場合、 $\sigma = 5,000m$ が探査深度の目安となる。

2) シュランベルジャー法

下図に示す電極配置による直流電気探査法である。



この場合、A、B極は送信極、M、N極は受信極である。A、B極を6mから1,500m迄変化させ、この時得られる見掛比抵抗 ρ_a ($\Omega \cdot m$) と、中心点と送信極間の距離 $AB/2$ (m) との組合せから中心点の地下垂直方向の比抵抗分布を解析することが出来る。

見掛比抵抗 ρ_a は次式によって計算される。

$$\rho_a = K \times \frac{V}{I} \quad (\Omega \cdot m)$$

V : 受信電位 (volt)

I : 送信信号 (Amp)

$$K = \pi \times \left\{ \left(\frac{AB}{2} \right)^2 - \left(\frac{MN}{2} \right)^2 \right\} / MN$$

解析方法は標準曲線照合法と直接解析法がある。

本調査では、コンピュータを利用した後者によった。

(3) 調査地域の地質及び地質構造

本地域の地質は先カンブリア紀に属する基盤岩と、これを覆って堆積する古生代から新生代第三紀に属する地層からなる。基盤岩は片麻岩を主とし、これを覆う堆積岩類は、主に石灰岩であり砂岩、頁岩、泥岩を含む。

地表に発達するワジには、新しい河川堆積物の薄層がみられる。

本地域の地質構造は、石油鉱物省のデータによれば (図4.1.3, 図4.1.4 参照), SW-NEに諸構造が発達している。

本調査が対象とする帯水層は古第三紀の殆んど平坦な堆積を示すウム・エル・ラドゥーマ (UER) 層に位置している。

(4) 調査地域の限定

ELF-MT法は簡易な測定が可能であるが、全域を測定するには今回の調査期間では不十分であり、調査域を限定する必要があった。

そこで衛星写真解析によって、ドーカ南部を走るSW-NE系のリニアメントを抽出した。

若しこのリニアメントが断層であれば、地下水の集中箇所として有望である。PAWRの報告によれば、リニアメント上に掘削した場合の成功率は高いとされている。

このリニアメントと国道との交差付近は、自噴帯の境界線が通過する所でもある。そこでこの付近を集中的に調査することとした。

4.2.2 調査結果

(1) ELF-MT法調査結果

測定の結果得られた見かけ比抵抗分布を図4.2.1 に示す。

測定測線数は10測線以上である。

調査面積は、およそ東西90km、南北90kmにわたる。

このうち、ドーカ、ワジ・モハウリム、シャスル、キトビート、ハンフィートの5地区の他、調査地中央のドーカ南部およびハイラト・アル・ラーカについて測定を行った。

見かけ比抵抗は最高 $3,000\Omega \cdot m$ から $10\Omega \cdot m$ まで分布する。

説明の便宜上 $100\Omega \cdot m$ を高見かけ比抵抗と低見かけ比抵抗の区切りとする。

- a) いずれの調査地域に於いても、高見かけ比抵抗と低見かけ比抵抗の分布が捕捉された。
- b) 見かけ比抵抗の全般的傾向として礫丘では高く、ワジでは低い。
- c) 調査地中央のドーカ南部：国道からハイラト・アル・ラーカへの入口付近に、高見かけ比抵抗の中にこれを切る様な形状で、低見かけ比抵抗が捕捉された。この低見かけ比抵抗帯の中央部は、S-N系の方向、南部ではSE-NW系の方向を示す。
- d) この低見かけ比抵抗帯の北側は、SW-NE方向を示す巾広い低見かけ比抵抗帯に連なる。この巾広い低見かけ比抵抗帯と高見かけ比抵抗帯との境界部付近には、ランドサット写真から抽出されたSW-NE方向のリニアメントが位置する。
- e) これらの見かけ比抵抗分布は、本地域の地質構造の主トレンドであるSW-NE方向を示しており、広域的地質構造を反映していることを示唆する。即ち、ワジ・モハウリムで捕捉された低見かけ比抵抗帯は、上記リニアメントの位置と一致し、ドーカ南部にある巾広い低見かけ比抵抗帯に繋がり、更にシャスルにある低見かけ比抵抗帯へと繋がって、SW-NE系の大きな低見かけ比抵抗帯を形成している可能性を示す。
又、同様にハンフィート、キトビートで捕捉された低見かけ比抵抗帯は、互いに繋ってSW-NE系を示す可能性がある。同時にハンフィート、キトビートで捕捉された高見かけ比抵抗は、互いに繋がり、ドーカ南部の高見かけ比抵抗帯に繋がって、SW-NE系の大きな高見かけ比抵抗帯を形成している可能性を示す。

(2) シュランベルジャー法調査結果

E L F - M T 方法によって捕捉された見かけ比抵抗異常地区の垂直方向の比抵抗分布を解析する為に、シュランベルジャー法を実施した。

全測点数は14点である。

測点位置は、図4.2.1 に、解析結果は断面図として図4.2.2-(1),(2) に示す。

V E S (Vertical Electric Sounding) 曲線各点の結果例はAppendixに掲載した。解析断面図には既存掘削井の地質柱状図も併記している。本地域の第三紀層の地質構造は変化が少ないと思われるので、坑井間を直線で結んで表現した。

1) 既知地下水データとの対比

a) 既存井戸W 5 (ZA035301AA) と測点No.10 との対比

この井戸は、ハイラト・アル・ラーカの北方約7kmに位置し、上位UER 層と下位UER 層との境界部(以下U/L境界と称す) 240m付近から14.8 ℓ/s の地下水が自噴している。その他1 ℓ/s の帯水層が166 m付近にある。

測点No.10 は井戸W 5 から約 100m東方にある。

上位UER 層は低比抵抗および高比抵抗に二分されて解析された。上記二つの帯水層および下位UER 層は高比抵抗層に解析された。

b) 既存井戸WA 3 (AF920800AA) と測点No.11 との対比

本坑井は国道建設時に掘削され、Rus 層相当箇所48m付近および上位UER 層相当部の 154m付近に帯水層がある。

この二つの帯水層は一つの低比抵抗層として解析された。

また、その下部は坑井W 5 の例と同じで、高比抵抗層となっている。

c) ハイラト・アル・ラーカに於ける浅井戸と測点No.9との対比

ハイラト・アル・ラーカには浅井戸(約15m深)が多数開削され、揚水によるかんがい農業が営まれている。

測点は農場と農場の間で1つの井戸から約 300m離れている。

解析結果地表浅部並びにU/L境界付近を含む深部に低抵抗層が解析された。この測点のV E S (Vertical Electric Sounding) 曲線は、電流電極(AB/2)を増加しても見掛比抵抗 ρ_a があまり増加しなかった。この結果下位UER 層相当部においても高比抵抗とならず、中比抵抗に解析された。

2) パイロット・ファーム計画候補地の調査

a) Site 1: 測点No. 2、13及びNo. 8

ドーカ南部において、ELF-MT法により捕捉された低見かけ比抵抗帯南部のワジ中に土壌の堆積が発達している箇所である。

測点No. 13 がほぼ候補地の中央部にあり、No. 2は南東のはずれ、No. 8は約4 km離れた南西方向にある。

これらの測点では、U/L境界部付近を含めた深部に低比抵抗層が解析されている。

また、測点No. 2、13では地表から中深部まで中比抵抗層であり、低比抵抗層は解析されていない。

b) Site 2: 測点No. 3、14

Site 2は、Site 1が含まれる低見かけ比抵抗帯の北端付近に位置する。測点No. 3、14はこの候補地の中にある。

Rus 層に相当する地表浅部に低比抵抗の薄層が解析された他は、中比抵抗および高比抵抗となっている。

測点No. 3では下位UER 層も高比抵抗を示さず低比抵抗化している。

c) 測点No. 5、6及び2

これらの測点は、Site 2の周辺にある。測点No. 5は、Site 2の北東約4 km、測点No. 6は西方約3 km、測点No. 12 は北方約8 kmに位置する。

測点No. 6はNo. 3と似た解析結果となっており、U/L境界付近まで中比抵抗となっている。測点No. 12 の測定結果および解析結果は測点No. 11 に類似する。

d) Site 3: 測点No. 4、7

この地点はELF-MT法によって捕捉されたドーカ付近の低見かけ比抵抗帯の中に位置する。測点No. 7はこのSite 3のほぼ中央に位置し、No. 4はNo. 7の東南東5 kmに位置する。

測点No. 4、7ともRus 層相当層が低比抵抗化している。

測点No. 4では上位UER 層下部に低比抵抗が解析されている。測点No. 7は深部まで中比抵抗となっている。

3) その他測点 (No.1)

ハンフイート東方に位置する。

ダンマーム層相当箇所が中比抵抗となっている。

また、上位UER 層は低比抵抗であり、U/L境界付近がさらに低比抵抗となっている他、下位UER 層も中比抵抗に解析されている。

4) 解 釈

大地の比抵抗は、岩石または地層全体の孔隙率とそこに含有される水質に大きく依存する。ネジド地方の水質としては、 $2,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の電気伝導度である。従って、もし含水層が賦存深度に対比して十分な層厚を持てば、それは低比抵抗層として検出される。例えば、水井戸WA3では、上位UER 層中にある二つの帯水層に対応する箇所は低比抵抗層に解析されている。また、ハイラト・アル・ラーカの浅井戸に対しても同様低比抵抗層が解析されている。

一方、PANRの掘削井W5の自噴帯は特に比抵抗異常として検出されなかったが、これは帯水層の層厚が厚くないことによると解釈出来る。

Site 1の測点No.8およびNo.13では、地表付近は中～高比抵抗であり、低比抵抗は解析されてない。これは、この付近で掘削された浅井戸が、地下水を得られなかった事実と整合的である。

今回の調査では、多くの測点で、上位UER 層相当箇所は低比抵抗層と高比抵抗層に分かれ、下位UER 層は高比抵抗層に解析された。

これは上位UER 層中にはいくつかの帯水層が存在し、下位UER 層中に帯水層が乏しいとの報告と整合的する。また、その帯水層についても、上位UER 層の方が溶蝕洞がより発達していると解釈出来る。

U/L境界部は良好な帯水層となっている。この意味で、この境界付近に低比抵抗層が解析された場合および下位UER 層中に低比抵抗が解析された場合、含水帯としての層厚が厚いこと、即ち溶蝕洞が発達している場所と考えられる。

以上の意味において、Site 1、Site 2、Site 3共、U/Lの境界部付近、または下位UER 層自体に低比抵抗層が解析されているので、地下水採取の成功率が高いと考えられる。

図 4.2.1 ELF-MT 電磁探査法 (8Hz) による調査地域の見かけ比抵抗分布

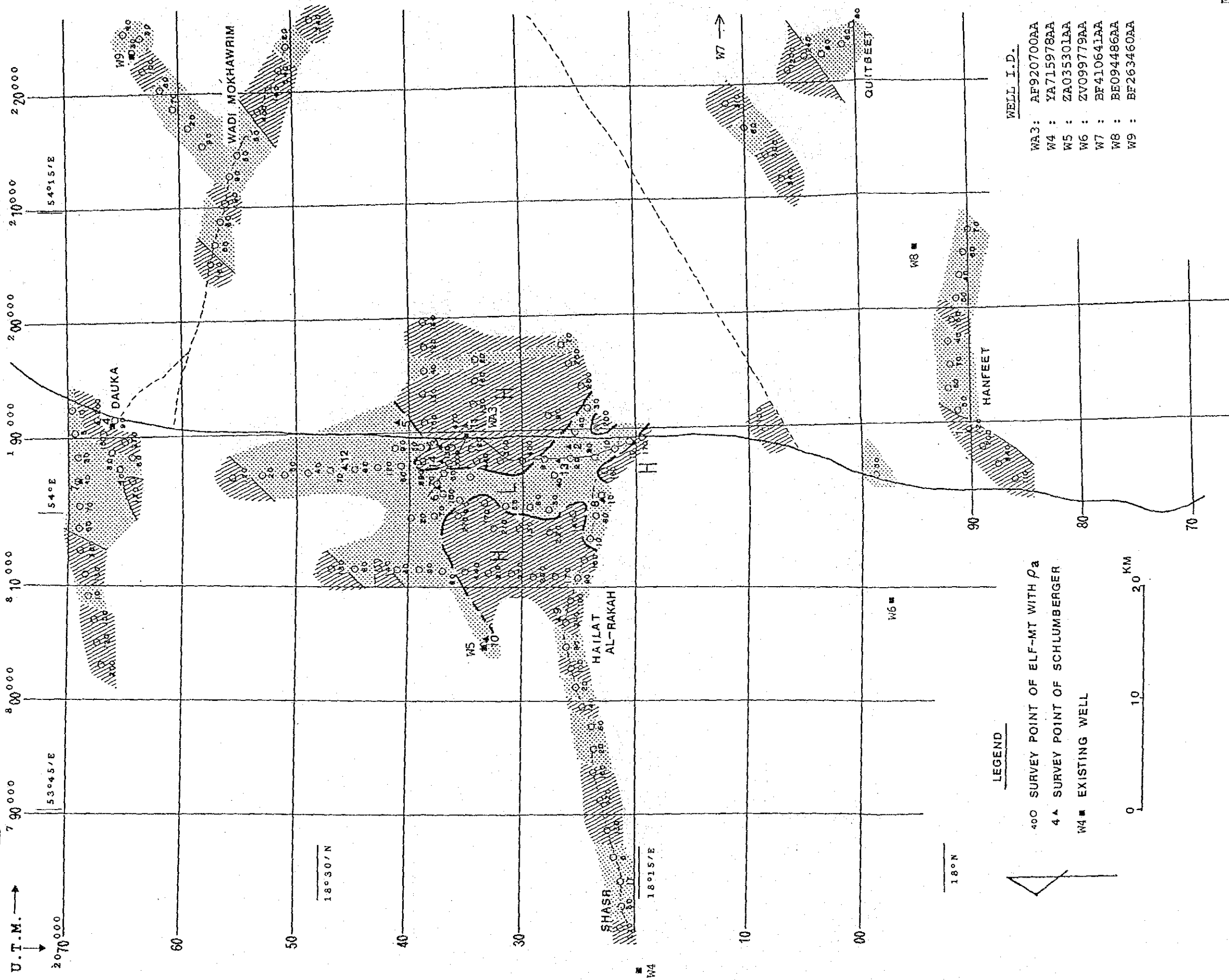


図 4.2.2-(1) シュランベルジャー電気探査法による比抵抗断面
(W4-W5-WA3-W9)

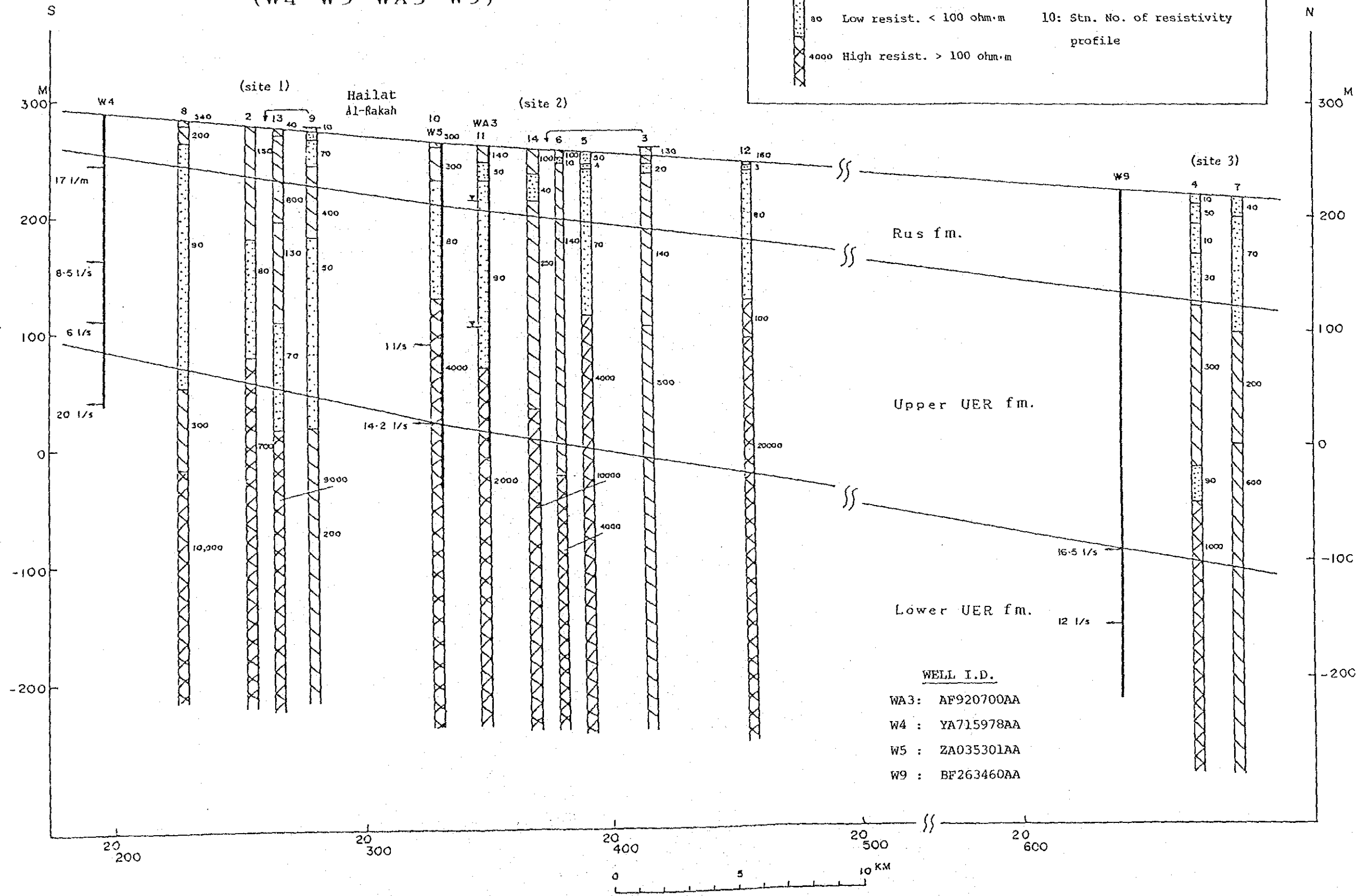
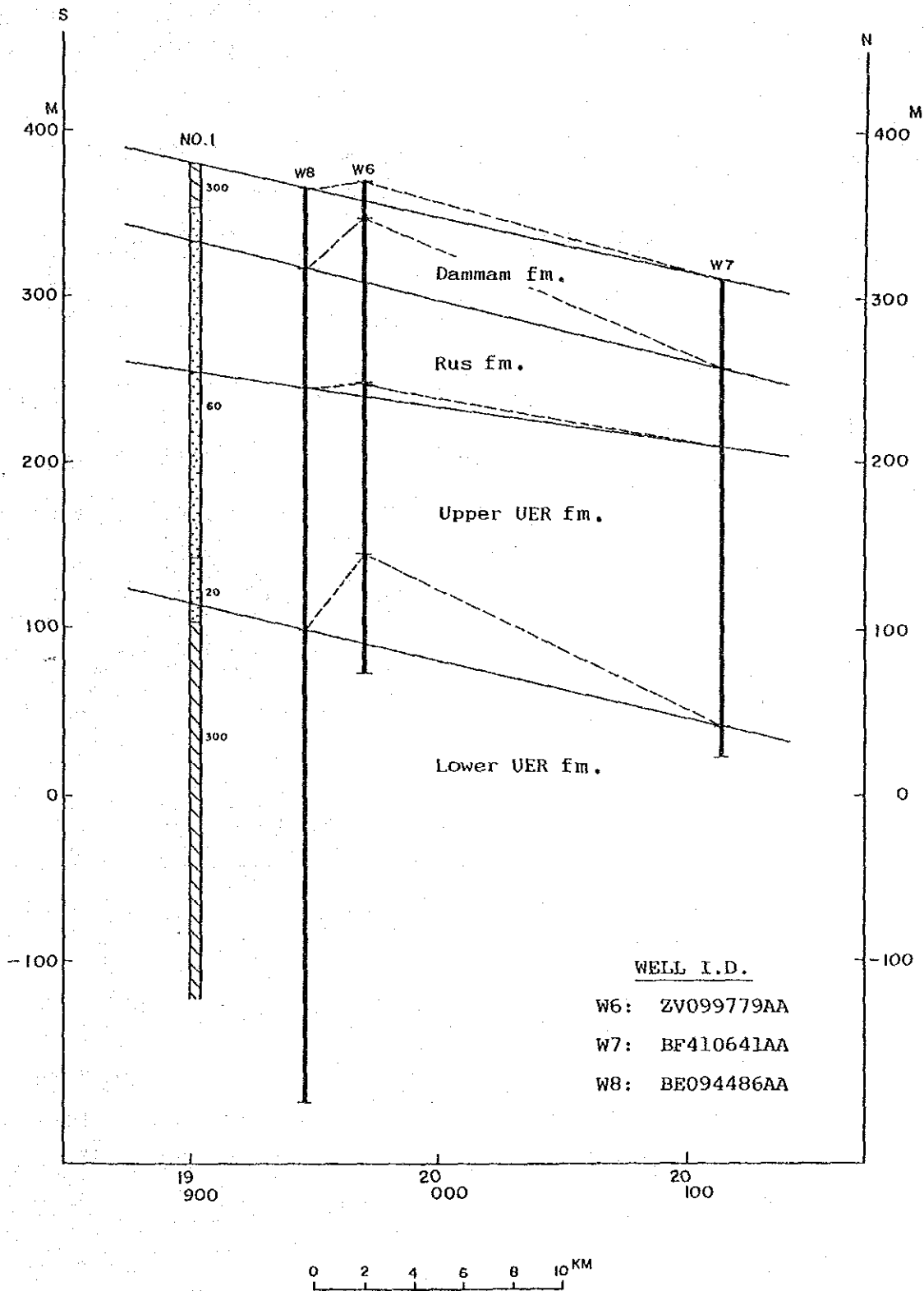


図 4.2.2-(2) シュランベルジャー電気探査法による比抵抗断面
(W8-W6-W7)



4.3 ボーリング調査工事

4.3.1 工事概要

ネジド地方の地下水調査とパイロット・ファーム計画の水源確保のため、パイロット・ファーム候補地でボーリング調査を実施した。これらのボーリング孔は、将来生産井として用いられるだけでなく、長期的な水位観測井としても用いられるよう計画されている。

(1) 計画実施内容

ボーリング調査工事は2年度にわたって下表のように計画、実施した。

ボーリング調査工事仕様

調査年次	井戸名	種別	深度(m)	掘削口径(mm)	ケーシング径(mm)
第1年次調査 (昭和62年度)	NJD-1	観測井	400	φ 152 ~ 444	φ 178 ~ 245
第2年次調査 (昭和63年度)	NJD-2	試験井	350	φ 216 ~ 610	φ 245 ~ 340
	NJD-3	観測井	350	φ 152 ~ 444	φ 178 ~ 245
	NJD-4	試験井	350	φ 216 ~ 660	φ 245 ~ 340

水文地質調査、物理探査によって下部UER層頂部に水質、水量ともすぐれた帯水層が見込まれたため、井戸掘削はその帯水層を対象として以下の通り計画された。

- a) 試験井 : 将来、生産井として利用する。地下水調査で明らかになった主帯水層を確保できる最低必要深度 350mを掘削した。
- b) 観測井 : 主帯水層の特性を長期的に観測するため、試験井と同じ 350mの深度を確保した。

掘削工事は現地の掘削業者が請負い、調査団が施工管理にあたった。

(2) 井戸の配置

本調査の4本の井戸の配置は、設置目的である地下水資源評価とパイロット・ファームの水源を満足させるため、下記の点を考慮して図4.1.5のように計画した。

- a) 試験井と観測井の配置は、パイロット・ファーム完成時の生産井になるため圃場配置計画を考慮した。
また、生産井として相互干渉が少なくなるように、井戸間距離を大きくとった。
- b) 試験井と観測井の配置は、帯水層の貯留係数算定のための揚水試験、および揚水に伴う地下水位変動を観測することを考慮した。
また、水文地質調査結果によりSW-N E方向の地下水流動の状況も考慮した。

(3) 工事仕様

1) 工事方法

オマーンで一般的に用いられている、車両搭載型ロータリー掘削機を使用したミストエアードリル方式（トリコンビット使用）により施工した。

2) 井戸の仕様および構造

井戸の仕様（掘削深度及び掘削口径）は、主帯水層深度・将来の利用計画等を考慮して計画した。また構造（ケーシングプログラム）は、以下の点を考慮して計画した。

ネジド地方では、現地政府機関により過去に何本かの観測井が掘削されており、それらの結果から以下のことがあきらかとなっている。

地下水開発の対象となる第三系は石灰岩を主としている。この地層の上部層には一部に泥灰質層・裂カやカルスト溶洞の発達した層などがある。これらの層に存在する地下水は、水量・水質とも大きな期待はできず、また一部の層は他の帯水層からの地下水が入り込んでしまういわゆる「泥棒ゾーン、Thief Zone」となっているなど、将来の開発対象としては問題がある。これらの下部に、本調査地区の主帯水層である下部UER層があり、その裂カ・溶洞中に被圧された地下水が賦存している。この帯水層は水質・水量ともより良質であるが、開発にあたっては上部の不良帯水層への流入、上部からの混入など、水質・水量の悪化をひきお

こさない様な井戸の仕上げが必要とされる (PAWR, 1986)。実際の施工にあたっては、これらの上部層部分にはケーシング管を挿入後、管と掘削孔壁の間隙をセメント充填することにより、上部層と下部層との混入を防止した。

(4) 工事内容

1) 工事内容

a) 掘削工事

- 観測井掘削 (井戸名 NJD-1, NJD-3) 2井 孔底口径 6"
- 試験井掘削 (井戸名 NJD-2, NJD-4) 2井 孔底口径 8 1/2"

b) 附帯調査工事

- 孔内物理検層
- 地質サンプル採取および微化石分析
- 揚水試験 (段階試験、連続試験)
- 防護フェンス工

2) 施工内容

a) 掘削工事

第1年次及び第2年次において設置された試験井および観測井の掘削深度、掘削孔径、ケーシング管挿入深度等はAppendixにまとめた。

b) 孔内物理検層

それぞれの井戸について2段目、3段目ケーシング挿入前と掘削完了後に次の孔内検層を実施した。

温度検層

電気伝導度検層

孔径検層

自然ガンマ線検層

比抵抗検層

自然電位検層

孔内流速検層

中性子検層

密度 (ガンマーガンマ) 検層

また、それぞれ全工事完了後に、地下水温・電気伝導度・孔内流速検層を実施した。

また、TV検層も実施した。

e) サンプル採取

掘削中のカッティングを1m毎に採取した。ただし、逸水掘りをした区間は約10m間隔のカッティング採取とした。またそれぞれの井戸で、次に示した深度のコアサンプルを採取した。

N J D - 1 144.0 - 147.0m, 240.0 - 242.5m
292.0 - 294.3m, 400.0 - 402.3m

N J D - 2 90.0 - 93.0m, 185.0 - 187.0m
274.0 - 276.3m, 297.0 - 300.3m
315.0 - 318.3m, 350.0 - 353.2m

N J D - 3 46.0 - 47.97m, 100.0 - 102.0m
200.0 - 203.0 m, 265.0 - 267.5m
285.0 - 287.5 m, 305.0 - 307.2m

N J D - 4 20.0 - 22.46m, 40.0 - 42.85m
130.0 - 133.0 m, 260.0 - 263.0 m
280.0 - 283.0 m, 290.0 - 293.0 m
300.0 - 303.0 m, 310.0 - 313.0 m

d) 微化石分析

次に示すカッティングサンプル、コアサンプルについて微化石分析を実施した。分析はフランス地質鉱物調査所（BRGM）に委託した。その分析の詳細は、Appendixに示す。

N J D - 1	145.70m	コアサンプル
	159 - 160m	カッティングサンプル
	187 - 188m	カッティングサンプル
	219 - 220m	カッティングサンプル
	242.50m	コアサンプル
	264 - 265m	カッティングサンプル

	275	— 276m	カッティングサンプル
		292.60m	コアサンプル
	349	— 350m	カッティングサンプル
		402.30m	コアサンプル
N J D - 2		274.00m	コアサンプル
N J D - 3		267.00m	コアサンプル
N J D - 4		20.30m	コアサンプル
		40.00m	コアサンプル
		130.50m	コアサンプル
		262.00m	コアサンプル

e) 揚水試験

各井戸完成後、仮設水中モーターポンプを設置し段階揚水試験・連続揚水試験を行なった。

連続揚水試験の揚水井と観測井

揚水井	観測井
N J D - 1	単井による揚水試験
N J D - 2	N J D - 1, N J D - 3
N J D - 3	N J D - 1, N J D - 2
N J D - 4	N J D - 1, N J D - 2, N J D - 3

(5) 工事経過

調査工事経過は図4.3.1-(1), (2) に示したように実施された。

圖 4.3.1-(1) 削井調查工事經過 (1)

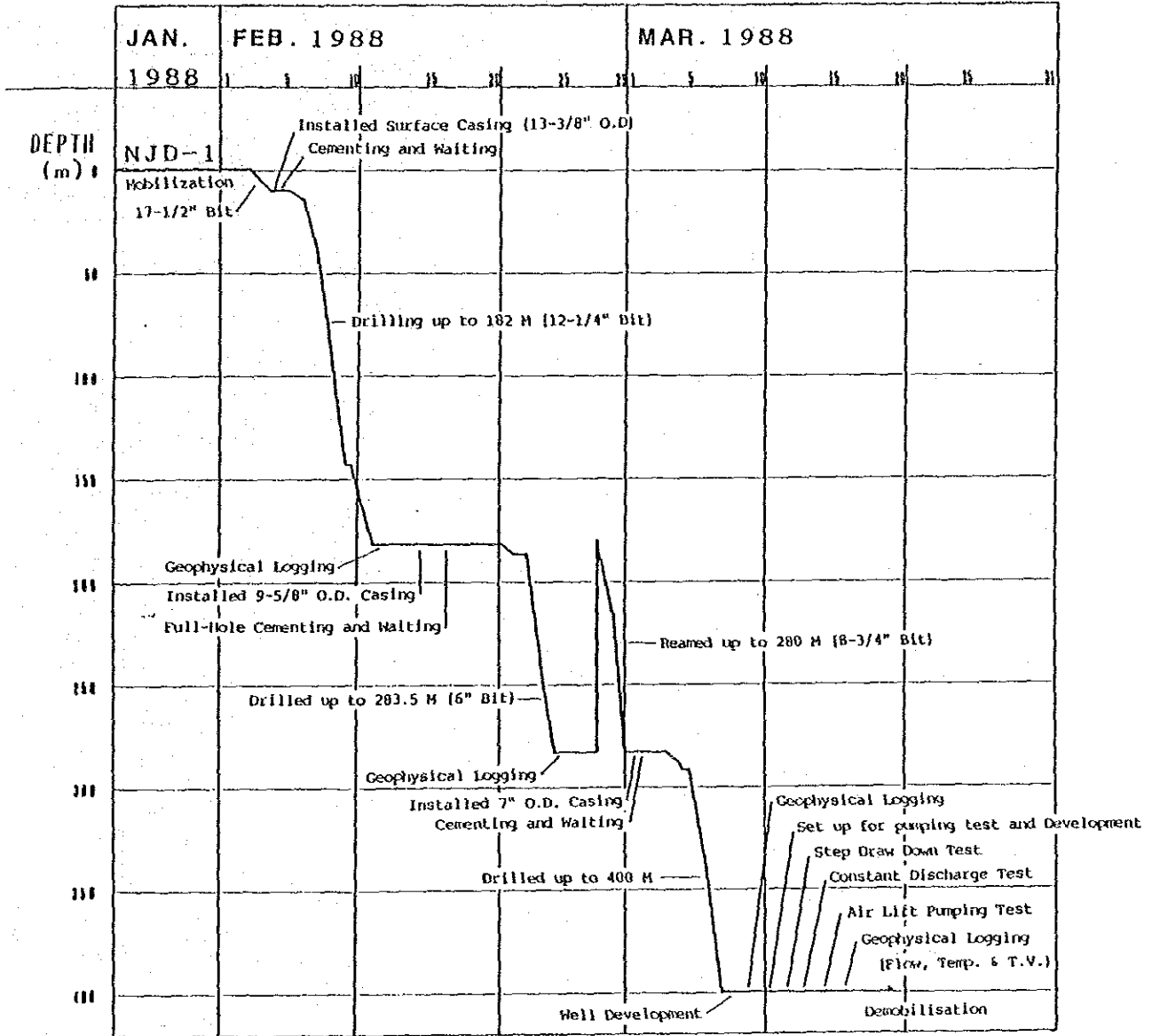
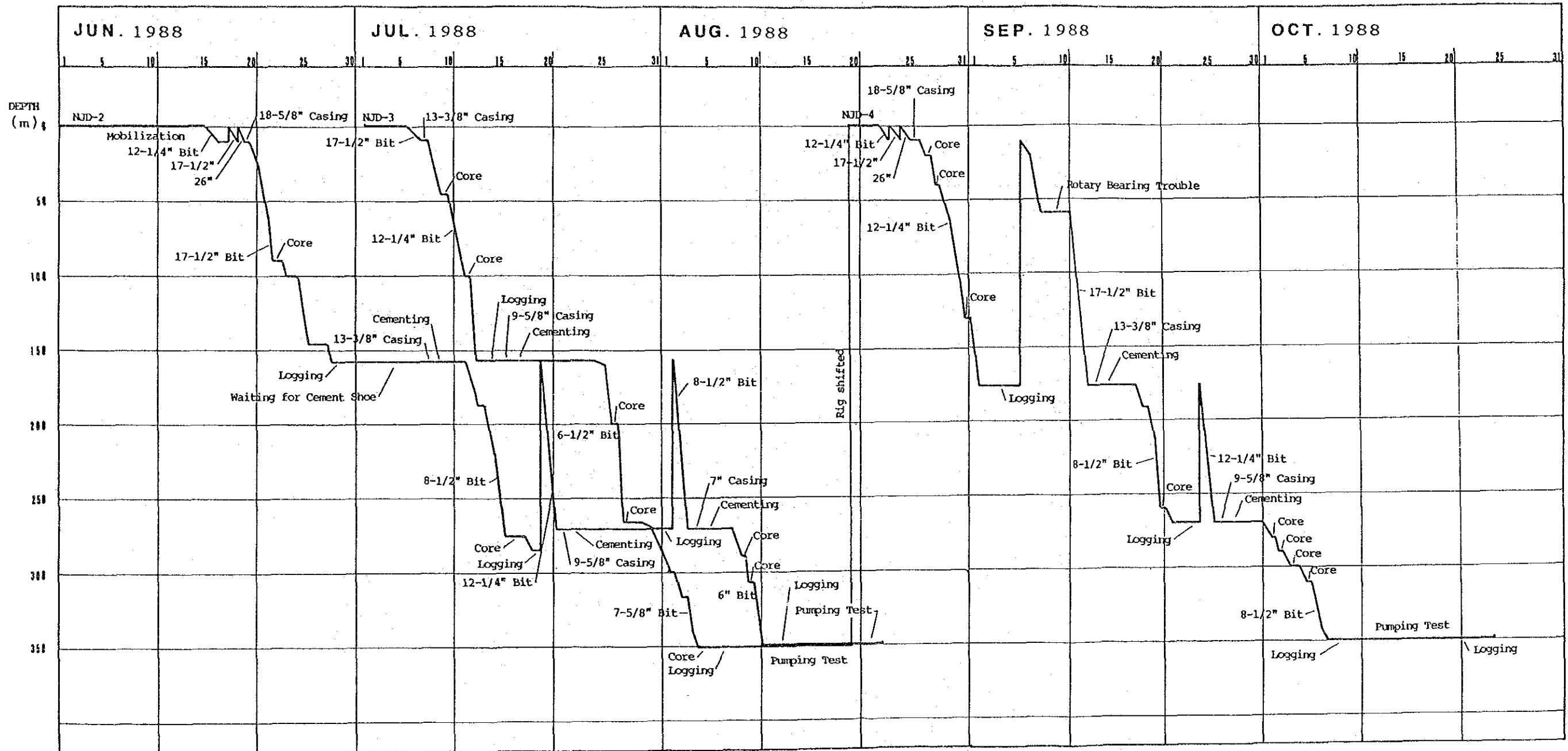


図 4.3.1-(2) 削井調査工事経過 (2)

図 4.3.1-(2)



4.3.2 工事結果

(1) 孔井地質

掘削中のカッティングサンプル観察、流出水の状況などを地質柱状図としてまとめ、Appendixに示した。

地質サンプルおよび孔内検層結果などの対比によれば、掘削した4井ともほぼ同様の地質状況である。しかし、NJD-4では、他の3井で見られた140m付近の裂カ・溶洞が現われなかった。地層は、おおむね次のように区分できる。

0 ~ 30m	ダンマーム層
30 ~ 140m	ラス層
140 ~ 270m	上位UER層
270 ~ 400m (NJD-1孔底)	下位UER層

(2) 孔内検層結果

これらの結果についてはAppendixにまとめた。

検層結果は、それぞれ非常に良く対応を示しており、既設の井戸資料(PAWR観測井)との比較からもいくつかの特徴点が見られる。

(3) 揚水試験結果

各井戸の段階揚水試験においては、各段階120分で5段階を原則として実施した。揚水量は、井戸孔径とそれに設置可能な水中モーターポンプに応じて決められた。その結果は表4.3.1にまとめてある。

水位降下量 s と揚水量 Q の関係を示す $s \sim Q$ 線図は、すべての井戸ではほぼ同じ傾きを示す直線状となっている。

一方、連続揚水試験においては、試験井の場合は72時間、観測井の場合はNJD-1では12時間、NJD-3では24時間の揚水を行なった。結果のまとめは表4.1.2に示した。NJD-4の試験結果が一様でないことが注目される。揚水試験の原データはAppendixに掲載した。

表 4.3.1 段階揚水試験結果表

*120minutes discharge for one step

WELL No.	Q		s (m)	Q / s (mf/day)
	(liter/sec)	(m ³ /day)		
N J D - 1	4	346	0.17	2035
	6	518	0.38	1363
	8	691	0.69	1001
	10	864	1.08	800
N J D - 2	11.4	985	0.27	3648
	23.2	2005	1.22	1643
	34.8	3002	2.20	1365
	43.8	3780	3.17	1192
	62.3	5384	5.92	909
N J D - 3	5	432	0.09	4800
	10	864	0.42	2057
	15	1296	0.96	1350
	20	1728	1.64	1054
	25	2160	2.31	935
N J D - 4	10.1	873	0.11	7936
	20.1	1737	0.645	2693
	30.0	2592	1.42	1825
	39.9	3447	2.315	1489
	58.1	5020	4.22	1190

4.3.3 井戸掘削の問題点

(1) 従来の問題と孔井地質

従来、ネジド地方の井戸掘削では、以下のような問題が生じていることが指摘されていた。(PAWR, 1986)

- a) 被圧状態の違いによる帯水層から帯水層への地下水の流出入。
- b) その結果生じる水資源の消耗や、良質地下水の悪化。
- c) ラス層にみられる石膏等の蒸発堆積物の溶出による水質の悪化。
- d) ラス層の泥灰質や粘土質の層で生じる掘削中の崩壊と、それによる掘削径拡大、ボーリング工事の難航。

今回の観測井・試験井掘削工事においてもこれらの問題が発生することが予想された。そのため、既述のようなケーシングプログラムを検討・実施し、下部U E R層頂部の優良な帯水層だけを目標とした仕上げとした。工事は当初の目的を達し、期待された結果を得ることができた。

今回の掘削工事の中で、上記の問題点に関係する次のよう孔井地質状況が明らかとなった。

1) ラス層の泥灰質層

上記 d) に示した掘削中に崩壊をもたらす層である。今回の掘削では、カッティングサンプル、孔内検層結果(孔径; 孔径の拡大、自然ガンマ線; 前後の層に比べ高値を示す等)によると、いずれの井戸も深度80m前後にこの層が認められる。また掘削中の流出水は、この深度でやや増量し、電気伝導度は $2,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ から $5,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上へと悪化している。

2) ラス層の石膏・蒸発堆積物層

a)の下部に、比抵抗検層により高比抵抗帯として現われる石膏・蒸発堆積物層が続く。これは既存の井戸検層結果も同様の傾向を示している。この層を掘削中に測定した流出水の電気伝導度は引きつづき高い値を示している。

- 3) ラス層下部の帯水層
今回の掘削では、NJD-1、NJD-2、NJD-3においてみられ、NJD-4では現われなかった。既存の井戸資料によっても現われている井戸とそうでないものがある。上部の帯水層との間に地下水の移動が起っている可能性がある。電気伝導度は、 $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$ と高く水質は悪い。
- 4) 上位UER層頂部の帯水層
深度170m前後に現われた。帯水層として貧弱であるが、孔内流速検層によればいわゆる“Thief Zone”のひとつであり、より圧力の高い帯水層からの流入を引き起している。電気伝導度は、 $2000\sim 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$ である。
- 5) 下位UER層頂部の帯水層
今回目標とした主帯水層である。被圧されており掘削地点によっては自噴状態となる。しかし、掘削中に突然噴出を始めるわけではない。ある深度から徐々に掘削中の流出量が増し、5～10m掘進後、流出量が急激に増加している。この傾向は、既存の井戸資料（PAWR観測井）にも現われている水質は $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度で、水量も多い。

上記の諸点を、既存井の資料をも参考にし、検層結果等とともに模式図としてまとめたものが図4.3.2である。

この図には、今後の井戸掘削工事において勧められるケーシングプログラム図も併記した。

(2) 井戸仕上げの留意点

従来発生している問題の解決は、結局、掘削中の状況を的確にとらえ、ケーシングおよびセメンチングによる遮水を確実に施工するしかない。

ネジド地域での井戸開発におけるケーシング挿入作業のため、上記の諸点を考慮し、留意すべき点を以下にまとめた。

1) ラス層の遮水

水質の悪化と崩壊層（泥灰質・粘土質層）の発達は、ラス層内で起る。ラス層内には石膏・蒸発堆積物層の発達もあり、先ずこの層を下部層と確実に遮断する仕上げとする必要がある。

掘削中の流出水の量および電気伝導度測定、カッティングサンプルの観察が必要である。ラス層と上位UER層の境界には大きな裂カ帯水層が存在する可能性がある。この層に遭遇する前に掘削を停止し、ケーシング挿入、セメンチング作業を

実施する。その際、自然ガンマ線・比抵抗・孔径および水温・電気伝導度・流速等の孔内検層を実施し孔井地質・孔内状況を確認する。またケーシング、セメンチング作業はセメンチングカラージュを使用し、ケーシング管と孔壁との間隙を充填するのに十分な量のセメントミルクを注入しなければならない。注入したセメントミルクの地表への回帰が確認出来ない場合は、地表からケーシング管と孔壁の間隙にセメントミルクを圧入する必要がある。いずれにしてもラス層部分の管と孔壁の間隙はセメントミルクによって満たされなければならない。

2) 上位U E R層の遮水

ラス層の遮水を完全に行なった後、計画する仕上がり径よりも一回り小さな径により上部U E R層の掘削に入る。これは万一予期しない深度で高圧の被圧帯水層にぶつかった場合の影響を、できるかぎり小さくするために必要である。(PAWR, 1986)

上位U E R層の上部に弱い圧力の耐水層がある。これは、ネジド地域の自然ガンマ線検層に特徴的に現われる5つのピークの最初の一つのさらに上部20~30mに現われている。この5つのピークが現われる層では、掘削中の流出量に影響を与えるほどではないが、やや水質の悪い地下水が浸出していることが比抵抗検層の結果から推察される。下部U E R層の頂部に到達すると掘削中の流出量が増加する。この深度に達する前に掘削を停止する。孔内検層の実施により地質・孔内状況を確認した後、塞ぐべき深度まで掘削しケーシング挿入、セメンチング作業を行なう。掘削によるカッティングの堆積によって孔底からの流出を減少させる効果があり、セメンチングがより確実になる。

(3) 推奨すべき掘削作業手順のまとめ

1) 掘削開始～第1段サーフィスケーシング挿入

表層部の崩壊防止のため、ケーシング管を挿入する。

2) ダンマーム層～ラス層～上位U E R層の掘削

掘削中は、カッティングサンプルの観察、掘削流出水の量・電気伝導度の測定等を行ない、泥灰質層、石膏・蒸発堆積物層、割れ目等の存在を推察する参考とする。

掘削はラス層と上部U E R層の境界の裂カに到達する前に停止する。

- 3) 孔内検層
掘削停止後、孔内検層を実施し、泥灰質層、石膏・蒸発堆積物層、裂力帯等の確認と、地下水の移動等の孔内状況の確認を行なう。
- 4) 第2ケーシング挿入およびセメンチング
検層による孔内状況の確認の後、ケーシングを挿入し、セメンチングを実施する。セメンチング作業により、ケーシング管と孔壁の間隙をセメントミルクによって完全に充填する。
- 5) 上位UER層～下位UER層の掘削
第2ケーシングにより上部層を完全に遮水した後、小孔径ビットにより掘削を再開する。カッティングサンプルの観察、流出水の量・電気伝導度の測定等により孔内状況の変化に常に注意している必要がある。掘削は下部UERの裂力帯に達する前に停止する。
- 6) 孔内検層
孔内検層を実施し、地質、孔内状況を確認した後、掘削深度を決定する。
- 7) 掘削
決定された深度まで掘削する。
- 8) 第3ケーシング挿入およびセメンチング
ケーシングを挿入し、セメンチングを実施する。ケーシングの先端には管端をセメントプラグした穴明管とセメンチングカラーシューを取り付け、下部の遮水を完全にするようにする。
- 9) 下位UER層の掘削
主帯水層と考えられる下位UER層を掘削する。
- 10) 孔内検層
地層・孔内状況の確認のため検層を実施し、工事完了とする。

4.3.2 プロジェクト・サイトの孔井地質と井戸構造

