

ヨルダン・ハシェミット王国

エル・ジャファル水系地下水開発計画調査

事前調査報告書

昭和63年5月

社会開発協力部

LIBRARY

280 063

JICA LIBRARY



1065719[5]

17725

ジョルダン・ハシェミット王国
エル・ジャファル水系地下水開発計画調査
事前調査報告書

昭和63年 5 月

国際協力事業団

序 文

日本国政府は、ジョルダン国政府の要請に応え、エル・ジャファル水系地下水開発計画調査に係る調査を行うことを決定し、国際協力事業団が実施することになった。

当事業団は、社会開発協力部調査第二課長神田道男を団長とする5名からなる事前調査団を、昭和63年2月18日から2月28日までジョルダン国に派遣した。

調査団は、現地踏査を行うとともに、ジョルダン国政府関係者と本格調査について協議を行った。

本報告書は、その結果を取りまとめたものである。本報告書が、今後の本格調査を立案検討し実施するに際し参考となることを期待するとともに、今回調査実施にあたり多大の御協力をいただいたジョルダン国政府、在ジョルダン日本国大使館ならびに関係各位に対し厚くお礼申し上げる次第である。

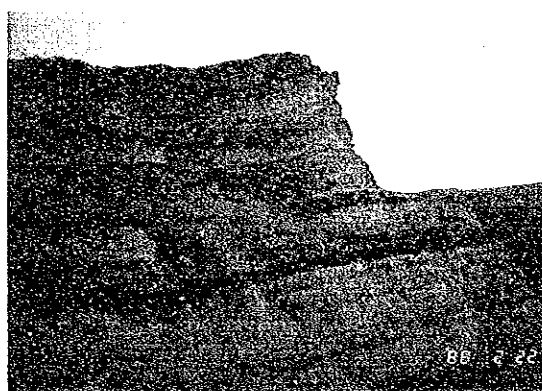
昭和63年5月

国際協力事業団

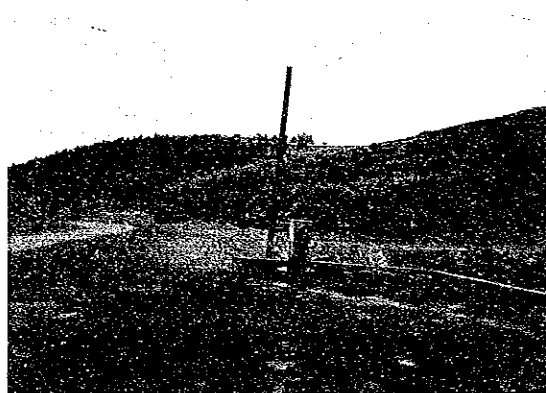
理事 玉光弘明



PH-1 ムジブ溪谷に露頭する典型的なワジシル層 (A₇)。溶食空洞 (Cave) がよく発達している。



PH-2 ムジブ溪谷に露頭する典型的なアンマン層 (B₂)。チャート層を挟むのが特徴で、地層はうねっている。



PH-3 調査地域西側の高原地域の Shaubak 付近に露頭するワジシル層 (A₇)。この地域は B₂/A₇ 帯水層の涵養地 (Recharge Mound) となっている。



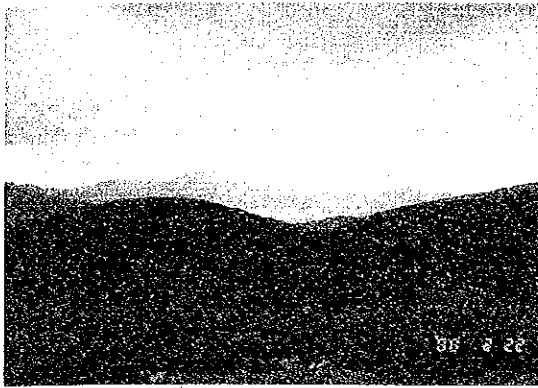
PH-4 調査地域西側の高原地域の東縁部、キングスハイウェイの分岐点。この地域は既に難透水層のムワッカー層 (B₃, 主として泥灰岩より成る) が表層を覆い始めている。



PH-5 マアン市西方の高原地域と砂漠地域の境界部付近。難透水層であるムワッカー層 (B₃) が厚く表層を覆っている。



PH-6 調査地域の西側にあるダムサイト候補地点。このダムは Wadi El Arja Project の一環として計画されている。ダムサイトの河床付近には難透水層のムワッカー層 (B₃, 淡褐色の泥灰岩) が分布し、その上を透水層であるリジャム層 (B₄, チャートノジュールを含み、黒く見える) が覆っている。



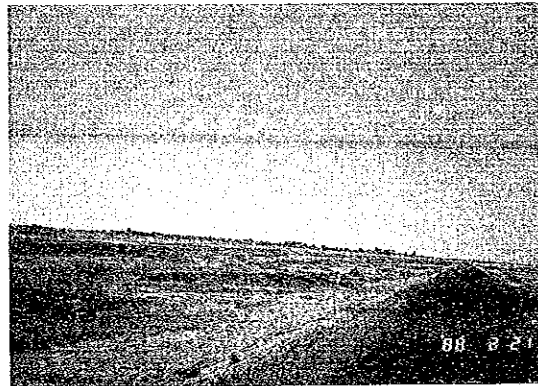
PH-7 調査地域の南西方向に位置するペトラ付近に分布するディシ砂岩層 (D, オルドビス紀)。周辺の石灰岩の丘陵のように丸みを帯びた地形ではなく、急峻な山地を形成している。



PH-8 ジャファル水系中央部の土漠。ほとんど起伏がない広大な土漠で、道路もほとんど通っていない。



PH-9 ジャファル水系中央部のワジ沿いに貯っている水。この水は洪水時にもたらされたもので、浅層地下水 (B_4 帯水層) の涵養源となっている。



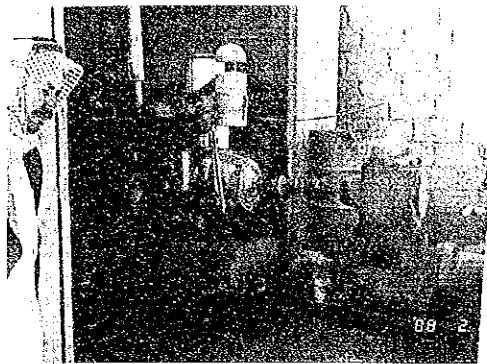
PH-10 ジャファル水系のほぼ中央部に位置するエルジャファルの農園。この農園は浅層地下水 (B_4 帯水層) によって灌漑されている。



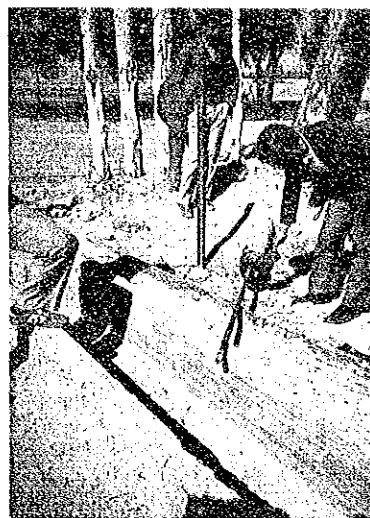
PH-11 エルジャファルの農園の内部。ここでは塩分に強いアルアルファなどの作物が植えられている。



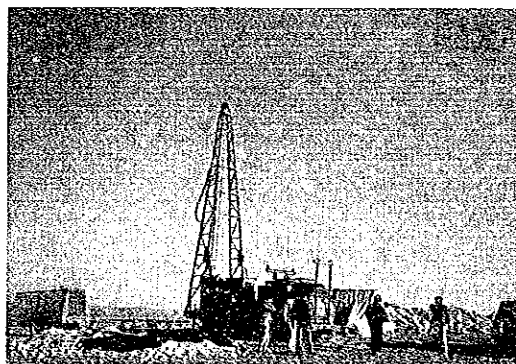
PH-12 エルジャファルの農園の灌漑水路。



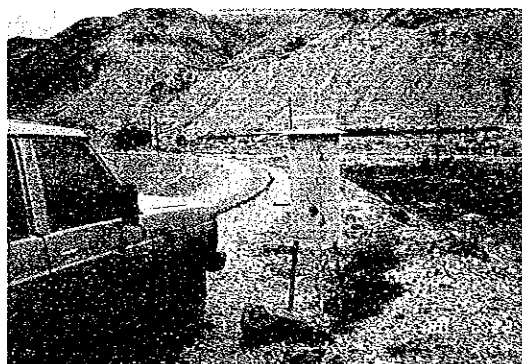
PH-13 エルジャファルの農園で稼働中の井戸 (PP-30)。ディーゼルエンジンで駆動されており、これを井戸中のポンプにロッドで伝えている。



PH-14 エルジャファルの農園で修理のために取り出された8インチポンプ。



PH-15 ジャファル水系の北に隣接するムジブ水系で実施されているオイルシェールの調査ボーリング。この調査は天然資源局 (Natural Resources Authority) によって実施されている。



PH-16 ムジブ水系に設置されている雨量計。



PH-17 ワジハサ上流部を中流部より望む。この橋の付近にワジハサの流量観測ステーション (CF-1) が設けられている。



PH-18 ワジハサ中流での流況。ワジハサの流路沿いにはいくつかの湧泉があり、これが基底流となっているとのことである。この地点での水温は15°C、電気伝導度は900 μ S/cmであった。

事前調査報告書

目 次

総 論

I 調査の概要	1
1-1 事前調査の目的	1
1-2 調査団の構成	1
1-3 調査の行程	1
II 本格調査の概要と基本方針	3
2-1 本格調査の基本方針と留意事項	3
2-2 Scope of Work の概要	4

各 論

III ジョルダン・ハシェミット王国の概要	5
3-1 自然条件	5
3-2 社会・経済状況	9
IV ジョルダン王国の水需給計画と本件調査との関わり	11
4-1 水資源開発の基本姿勢	11
4-2 水需要の動向	11
4-3 ジャファル水系地下水開発計画の位置付け	14
V 調査対象地域の概要	17
5-1 社会経済条件	17
5-2 自然条件	17
(1) 地 形	17
(2) 地 質	17
(3) 気 象・水 文	25
5-3 流域内の開発状況および関連事業計画	27
VI 現地調査結果	29
6-1 収集資料	29

(1) 地形図・航空写真	29
(2) 気象・水文資料	29
(3) 地質および水文地質資料	29
(4) 開発計画関連資料	35
6-2 地下水開発調査	35
(1) 水文地質概要	35
(2) 水文地質調査の現況	44
(3) 水文地質調査の課題	44
(4) シミュレーションに対する考察	47
6-3 本格調査関連事項	52
(1) さく井仕様	52
(2) 調査工事の現地業者への発注	55
(3) 外注請負価格調査	55
VII 本格調査の内容	59
7-1 調査の目的	59
7-2 調査対象地域および調査の範囲	60
(1) 調査対象地域	60
(2) 調査の範囲	60
7-3 調査の実施要領（案）	61
(1) 既往資料の収集・検討	61
(2) 現地調査	63
(3) 地下水位観測	63
(4) さく井工事	64
(5) 揚水試験	64
(6) 浅層地下水調査	66
(7) 水文地質解析	67
(8) 地下水シミュレーション	68
(9) 地下水開発ポテンシャルの算定	69
(10) 地下水開発基本計画の策定	70
(11) 調査工程	70
(12) 報告書作成	71
(13) 要員計画	72

(14) 調査に必要とする資機材	72
付属資料	
○ Scope of Work	75
○ Minutes of Meeting	83
○ 収集資料リスト	89
○ 面会者リスト	93

(総 論)

I 調査の概要

I 調査の概要

1-1 事前調査の目的

ジョルダン国政府の要請に基づき、エルジャファル水系における地下水開発計画の作成を目的とした調査を行うものであり、今回は本格調査のS/Wを協議締結することを目的として、事前調査団が派遣された。

1-2 調査団の構成

- | | | |
|------------------|-------|-----------------------|
| 1. 総括 | 神田 道男 | 国際協力事業団社会開発協力部開発調査二課長 |
| 2. 協力政策 | 佐藤 孝夫 | 外務省経済協力局開発協力課 |
| 3. 計画調整 | 菊地 文夫 | 国際協力事業団社会開発協力部開発調査二課 |
| 4. 水文地質 | 植村 嘉之 | 八千代エンジニアリング株式会社 |
| 5. ボーリング
調査計画 | 佐々木洋介 | 同 上 |

1-3 調査の行程

日順	月日	曜日	行 程	調 査 内 容
1	2/18	木	東京→バンコック	JL 717
2	19	金	バンコック→アンマン	RJ 181にてアンマン着
3	20	土	アンマン	日本大使館および「ジョ」政府関係機関表敬・打合わせ
4	21	日	"	エルジャファル水系の現地踏査
5	22	月	"	同 上
6	23	火	"	S/W協議
7	24	水	"	S/W協議
8	25	木	"	S/W署名, および大使館報告
9	26	金	アンマン→	帰 途
10	27	土	→ロンドン→	
11	28	日	→東京	

(総 論)

II 本格調査の概要と基本方針

II 本格調査の概要と基本方針

2-1 本格調査の基本方針と留意事項

本調査は次の点に留意しつつ行う。

(1) 調査内容

本調査は、地下水開発の技術的側面（涵養、機構、賦存量の把握）に重点を置くこととし、地表水については既存資料による解析にとどめる。また水利用計画の調査を行わない。

(2) 調査対象帯水層

調査対象地域では浅層（B₄/B₅：地表下50m程度）と、中間帯水層（B₂/A₇：地表下400m～200m）と下層帯水層（K：地表下700m～300m）の3種の帯水層が存在するが、本調査では、このうち浅層および中間帯水層を対象とし解析を行う。

(3) 解析手法

浅層地下水は、洪水の浸透水を涵養源とし、ジャファル盆地の中心部に集まるローカルな帯水層であり、タンクモデルによる解析を行う。また、農場からの浸透による塩水化メカニズムについても解析を行う。中間帯水層については、有限要素法による解析を行うとともに、ムジブ水系水利用調査における手法との整合性を図る。

(4) ボーリング

本調査地域では、過去3回の調査により120本の既存井があるので、今回は既存井の存在しない地区で5本の揚水井を掘削するとともに、2本程度の観測井を掘削する。掘削深度は、対象地域東部ではB₂A₇下層のアジルン層下部まで帯水している可能性があり、東部、西部地区で少なくとも1本アジルン層（A層）下部まで掘削する必要がある。また、KARAK—WADI FIHA 断層の影響についても検討し得るように掘削地点を選定する。口径については可能な範囲で極力コストダウンを図る。

(5) 実施体制

水資源灌漑省の水資源総局（WAJ）が先方実施機関となり、計画省が調整機関となる。水資源総局内では、Water Study and Research Dept.とWater Resources Dept.が担当し、ボーリングについてはDrilling Dpt.が協力をする。

(6) シミュレーション

「ジョ」側は、WAJ 所有コンピューターによる解析を希望しているが、能力、効率性からこれに対応することは困難であるが、シミュレーション手法の技術移転について先方と十分協議し、可能な方法をさぐる必要がある。

(7) 全国計画との関連

雨量の少ないジョルダンにとって地下水は貴重な資源であり、この資源量の把握に当っ

ては各先進国からの協力を得ており(ODA, USAID, EC), これら調査との整合性を図りつつ, 実施する必要がある。

2-2 Scope of Work の概要

1. 協力の内容および範囲

エルジャファル水系(14,400km²)における地下水賦存量の検討を行って地下水計画の策定を行う。

2. 調査の内容

調査は, 主として以下の項目により構成される。

(1) 既存資料の収集

- 1) 社会経済
- 2) 既存井戸
- 3) 地形, 地質, 土地利用
- 4) 地下水開発
- 5) 水文気象データ

(2) 現地調査

- 1) 地形・地質
- 2) 既存井戸

(3) 地質調査

(4) 地下水調査

- 1) ボーリング, さく井
- 2) 揚水試験
- 3) 水質分析

(5) 水文観測

- 1) 地下水位

(6) 解析評価

- 1) 水収支
- 2) 地下水の分布と流動
- 3) 開発可能量の算定

(7) 地下水開発計画の策定

(各 論)

III ジョルダン・ハシェミット王国の概要

III ジョルダン・ハシェミット王国の概要

3-1 自然条件

ジョルダン・ハシェミット王国は中東アラブ諸国に属し、東はイラク共和国、南東はサウジアラビア王国、北はシリア・アラブ共和国、西はイスラエル国に接しており、その国土面積はおよそ88,000km²である。

ジョルダン王国は北緯29°から33°、東経35°から39°に位置し、国土面積の約80%にも及ぶ地域がシリア砂漠に属する乾燥地帯で占められている。残りの約20%程度の比較的降雨の多い地域は、ジョルダン溪谷と呼ばれる南北に延びる大地溝帯とその兩岸の高原地域に限られ、可耕地はこの地域に集中している。

ジョルダン溪谷は地殻の造構造運動により形成された深い地溝帯で、その南の延長は中央アフリカのリフトバレーにまで及んでおり、地溝帯の底部は海面下-250から-390mである。塩分濃度が著しく高い湖として有名な死海は、この地溝帯の最深部に位置している。この地溝帯の兩岸には、平均海拔標高が600~900mの高原地域が南北に带状に分布し、この東側には広大な砂漠が広がっている（図-3.1参照）。

ジョルダン王国の気候は、先に述べたジョルダン溪谷、高原地域、砂漠地域によって異なっており、ジョルダン溪谷における年平均気温は30°C程度であるのに対し、東部高原および砂漠地域における年平均気温は、これよりもいくらか低く約25°C程度であり、東部高原地域では冬期に数回の降雪も認められる。降雨は10月から翌5月までの冬季に集中し、夏季にはほとんど見られない。降水量は図-3.2に示すように、ジョルダン溪谷において、年間約50~200mmであるのに対し、溪谷の兩岸の高原地域においては約300~600mmと多くなっている。一方、東側の砂漠地域における年間降水量は50mm以下と著しく低く、植生は希にしか認められない。また、年間の蒸発量は図-3.3に示すように3,000~4,000mmにも達する。

ジョルダン王国の地質は、基本的に基盤岩である先カンブリア代の火成岩、変成岩、堆積岩より成る複合岩体と、その上を覆うカンブリア紀から現世に至るまでの一連の堆積岩から構成される。これらの堆積岩のうち、カンブリア紀から中期白亜紀にかけては砂岩優勢の層相を呈し（層厚700~1,000m）、終期白亜紀から第四紀にかけては石灰岩優勢の層相を呈す（層厚300~1,000m）。基盤岩を除くこれらの地層は、全体として東側のシリア砂漠に向って緩やかに傾斜しているが、地溝帯であるジョルダン溪谷の周辺では、地層は断層のひきずり等で溪谷に向って急斜している。また、主な断層系としては、地溝帯で代表される南-北系、北西-南東系、東-西系の3方向の断層が顕著に発達する。

ジョルダン王国の地下水は、主としてカンブリア紀から第三紀にかけての地層中に胚胎

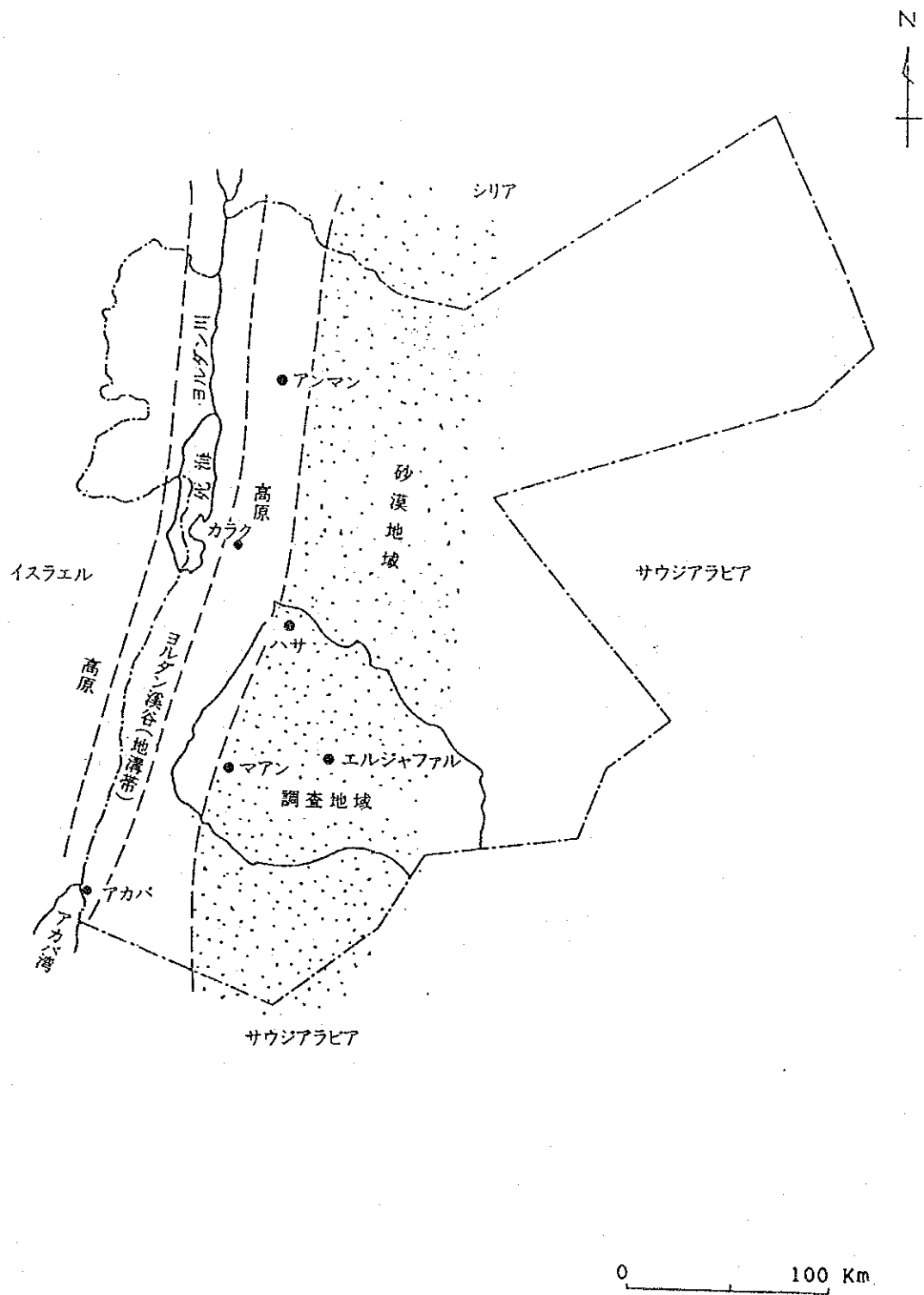


図-3.1 ジョルダン国の地理区分

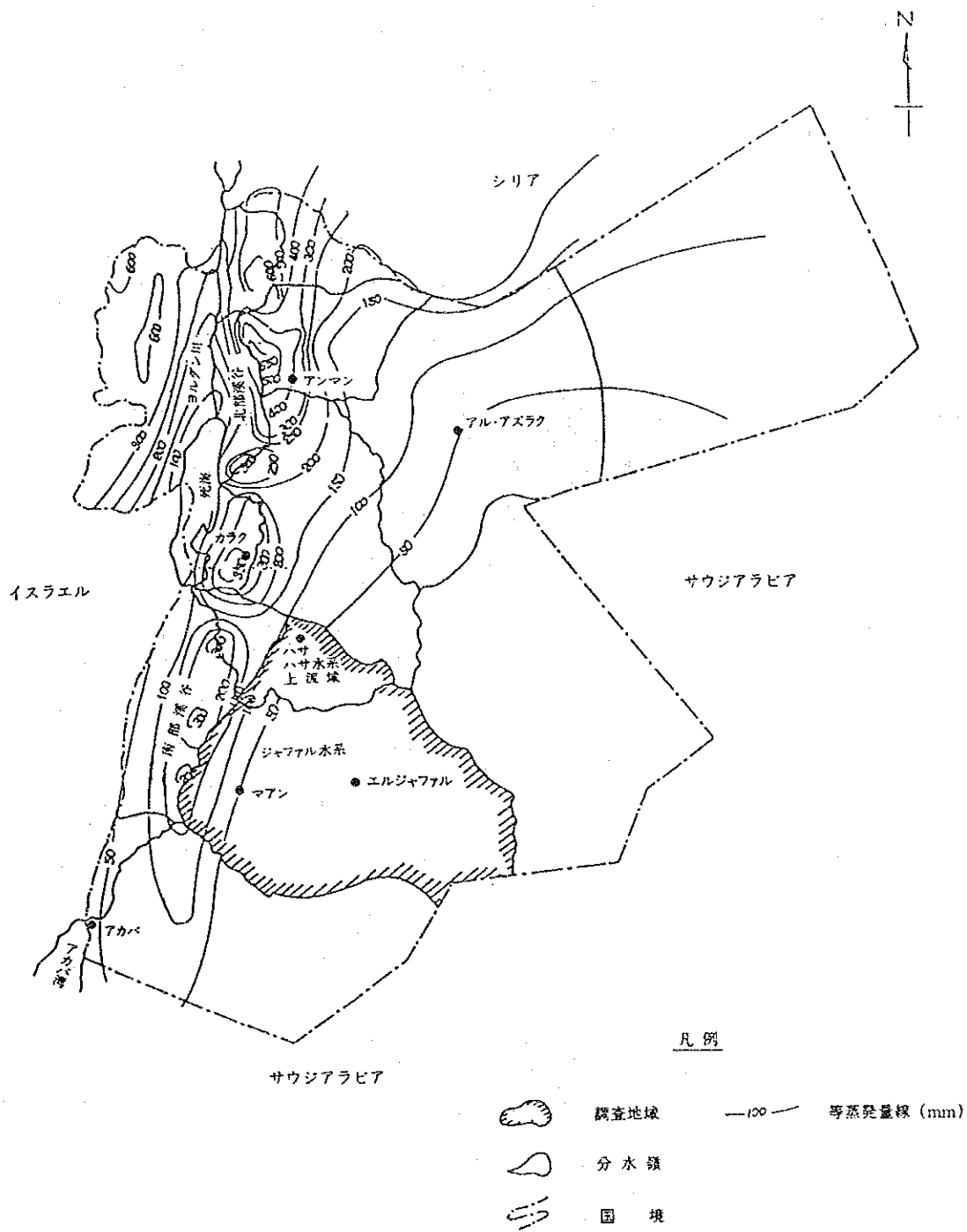


図-3.2 ジョルダン国の等雨量線図

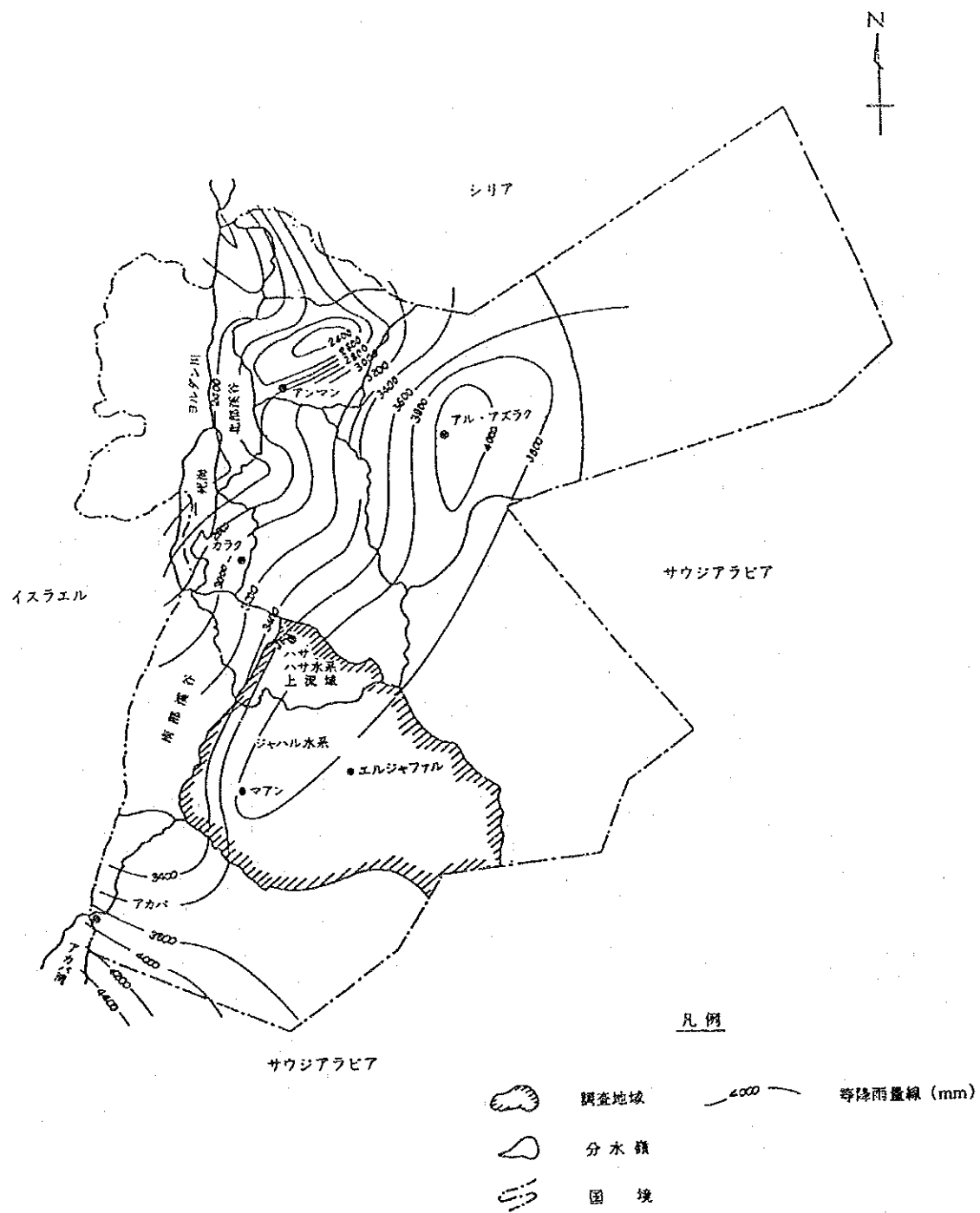


図-3.3 ジョルダン国の等蒸発量線図

されており、大きく3種類に分けられる。それらは深層のカンブリア系や白亜系の砂岩層に含まれ、現在地表からの涵養を受けていない深層地下水（化石水）と、上部白亜系の石灰岩層に含まれ長期の降雨影響を受ける中層地下水と、下部第三系の石灰岩層に含まれ降雨の影響を短期間に受ける浅層地下水である。

3-2 社会・経済状況

ヨルダン王国の人口は、1977年の国勢調査によると約215万人程度と推定され、その大半は国土の約20%程度しか占めないヨルダン溪谷や西部高原地域に集中している。1961年から1979年の間の年間人口増加率は4.9%と非常に高く、これはパレスチナからの難民の流入および高出生率によるものである。人口の増加は都市部で著しく、アンマン市では5.7%という数字が示されている。計画省の試算によると西暦2000年には、ヨルダン王国の人口は約440万人程度に達すると予測されている。

ヨルダン王国の農業適地はヨルダン溪谷、その中でもヨルダン川沿岸および死海の周辺に限られ、その面積は国土面積の7%にすぎない。このため、野菜等は自給できるものの、小麦、大麦、ジャガイモのような主食糧品は輸入に依存している。

ヨルダン王国の鉱工業生産は、燐、カリ塩等が主体であり、これらの鉱工業が外貨獲得に大いに貢献している。特に燐鉱はヨルダン王国の最も貴重な産品であり、現在も開発が進んでいる。また、この他にもオイルシェールを開発し原油を得ようという計画も現在進んでおり、いくつかの地点で探鉱が行われている。

ヨルダン王国の国内総生産（GDP）および国民総生産（GNP）は、1985年時点において各々15億8,600万 J.D.および18億5,600万 J.D.であった。ヨルダン経済は1980年以来、実質で約4%の成長率を示してきたが1985年以降、湾岸諸国をはじめとする世界各国の景気後退によりマイナスに転じた。

ヨルダン王国の貿易収支は、産業や資源があまり多くないため大幅な赤字を示している。しかし、海外で働くヨルダン人からの送金と外国、特に近隣の中東産油国からの援助のため、国際収支はわずかな赤字で維持されてきている。

ヨルダン政府は、近年の世界的景気後退を念頭に置き、第三次5ヵ年計画（1986年から1990年まで）を立てている。これによると国民1人当りのGDPの年平均成長率を1.3%と見込んでいる。

以上のように、ヨルダン王国は人口増加率が高く、また、その人口を賄うだけの食糧を自給できない状況にあり、かつ他の中東諸国のように産油国ではないため、国の財政は決して豊かなものではない。このためヨルダン政府は工業開発の促進、農業技術の改良、生産の向上等を図り、輸出の増加にも努めてきている。

(各 論)

IV ジョルダン王国の水需給計画と本件調査との関わり

IV ジョルダン王国の水需給計画と本件調査との関わり

4-1 水資源開発の基本姿勢

水資源は、ジョルダン王国にとって最も稀少な資源の1つであり、利用量が限定されていることが常に経済発展の障害となっている。そのため、国家予算の6分の1が水資源開発部門にあてられるなど、多大の努力がなされている。

自然条件により、国内の水資源は一様には分布しておらず、西部の地域に偏在している。過去における水資源開発投資も領土の北部—西部に集中し、この地域における大部分の水資源は、ほとんど開発し終えた状態である。

ジョルダンで消費されている水の85%が農業用水であり、残りの15%が都市用水および工業用水である。ジョルダンの多くの地域では、都市用水の給水管路が整備されている。工業用水については、大規模の工場では自家用の井戸を持ち、揚水して使用しているが、中小規模の工場では都市用水を工業用水に使用している。

国内の水資源量が限定されていることと、地下水は飲料用として最も重要なものであることから、上水利用を優先する政府の水配分政策のため、農業用地下水開発は、表流水可能開発量を考慮して政府が調整をすることとなろう。

この一環として、上水を受け持つWAJと灌漑を受け持つJVAの2つの組織が統合され、MOWI (Ministry of Water and Irrigation) が1988年設置され、現在、新しい組織づくりに向けて第一歩を踏み出した所である。

4-2 水需要の動向

(1) 水供給実績

都市用水はWAJが水源の開発から、各消費者に対する配水まで一貫して運営している。1985年におけるWAJの各県に対する供給水量は表-4.1に示すとおりである。

大アンマン圏への供給水量はアンマン、ザルカ両県への供給水量と同じと考えられ、61.5 MCM/年とみなされる。この量はジョルダン全土に対する供給水量の66.4%を占める。

(2) 過剰揚水の徴候

大アンマン圏に対する都市用水は、次の5つの水源から供給される。水源の計画時点における想定供給水量と、1985年における供給水量の実績を表-4.2に示す。

各水源からの供給水量が、想定値では年間39MCMであったのが、1985年においては実績値で年間61.5MCMとなり、当初想定された値より大幅に供給水量が多くなっている。

このことから現在の大アンマン圏では、需要を満足させるために、水源から地下水を過剰に揚水して水を供給している。

表-4.1 県別水供給実績 (1985)

県	供給水量	%
アンマン	52.3 MCM/年	56.5
ザルカ	9.2	9.9
イルビッド	16.0	17.3
バルカ	2.6	2.8
カラク	4.4	4.8
マアン	8.0	8.7
合 計	92.6	100.0

表-4.2 大アンマン圏への水源別供給水量

水 源	想定年間供給水量	実績年間供給水量
東ゴール主かんがい水路 (ディル・アッラ)	(45)MCM	1.5 MCM
アズラック井戸群	12	15.6
カトラナ, シワッカ, カスタル井戸群	7	15.1
アンマン周辺井戸	13	20.1
ザルカ周辺井戸	7	9.2
合 計	39 [*]	61.5

* 註. ディル・アッラの水量を含まない。

このように過剰揚水の状態で大アンマンに供給されているにもかかわらず、未だ需要を満たすに至っていない。WAJ の発表によれば、1986年の夏において190,000m³/day と見積もられる需要に対して170,000m³/day しか供給されておらず、約10%供給水量が不足している (図-4.1参照)。

(3) 大アンマン圏の都市用水需要予測

大アンマン圏での都市用水需要量は、人口の将来予測と1人当りの都市用水需要量から、2005年には188MCM 年必要と推定されている。

(4) 水不足緩和対策

このような水不足に対処するため、次の5つの計画の実施が1986年後半に決定している (図-4.1参照)。

○ワラ導水計画

○ムヘイバ導水計画

○新シワッカ導水計画

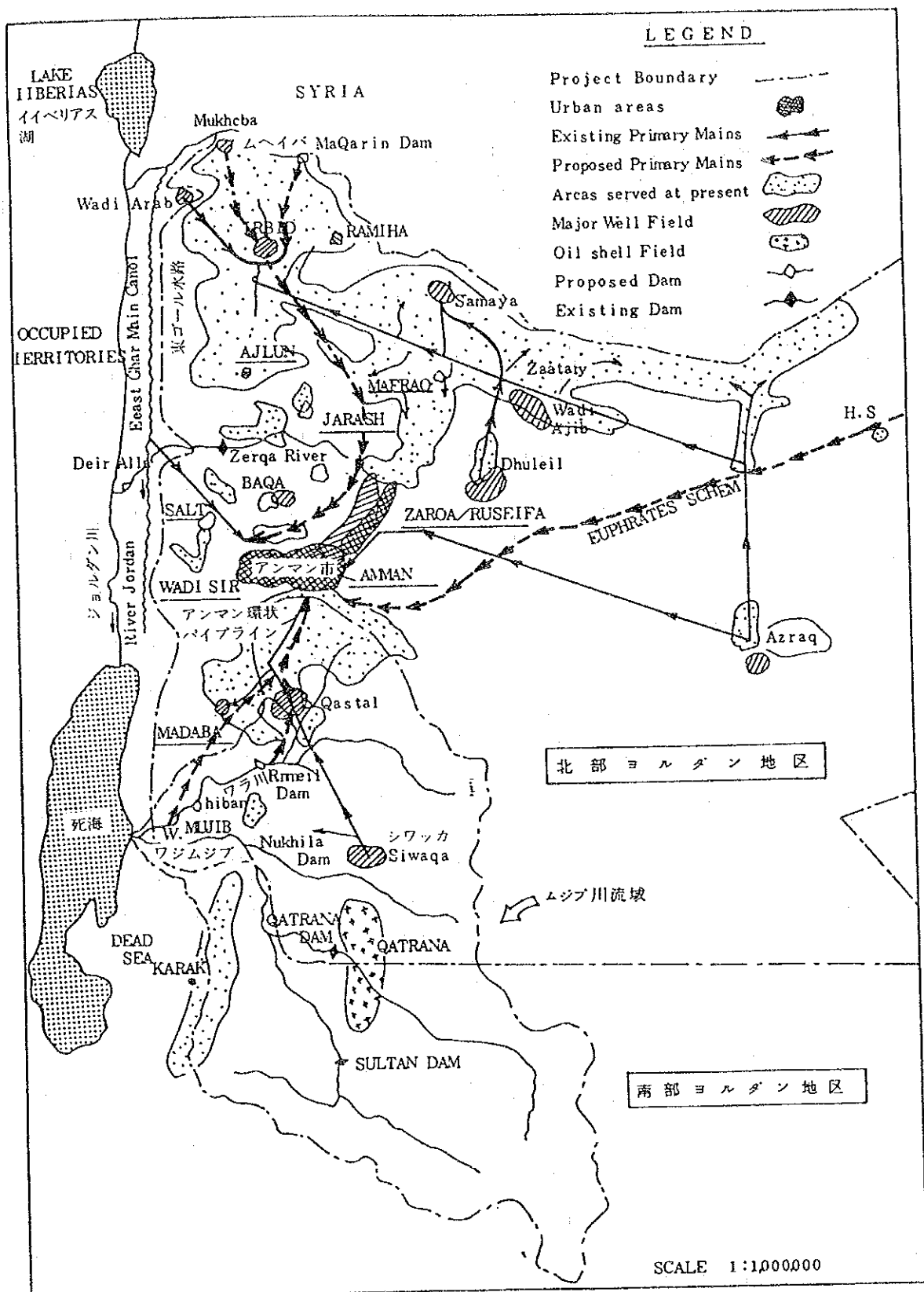


図-4.1 水供給システムの現況と将来計画

○環状パイプライン、ヤドゥーダ・ヌエイリーパイプライン

○環状パイプライン、ヤドゥーダ・アブアランダ・アズラックパイプライン

a) 緊急対策

ワラとムヘイバの2つの導水プロジェクトが現在建設中である。前者は1987年完成を日途に年間15MCMの水を、そして後者は1990年に完成し、年間26MCMの水を供給するように計画されている。この2つのプロジェクトの完成によって、1990年の首都圏の利用可能水量は90MCM以上に達し、同年の需要予測水量90MCMを満たすことになる。

b) 中期対策（1990年以降）

1990年以後を対象にシワッカ・カトラナ・スルタニおよびルメール井戸群からの給水が期待されている。これらの井戸群の取水可能水量は、全体で年間約23MCMに推定されている。この内訳はシワッカ・カトラナ・スルタニ井戸群から16MCM、ルメール井戸群から7MCMとなっている。

上記のプロジェクトがすべて実現すると、1995年に首都圏への供給可能水量は約114MCMとなる。これは同年の都市用水の推定需要量120MCMに非常に近い。しかし、1995年以後は、さらに新しい水源を開発しない限り首都圏の水不足が続くことになり、早急にこの対策が必要になっている。

4-3 ジャファル水系地下水開発計画の位置付け

現在、ジョルダン王国の水資源開発の基本計画は、1977年に西ドイツの技術援助の下に策定された「ジョルダン王国の国家水基本計画」である。同計画は国全体としての水資源開発と供給バランスの基本方向を示したもので、1985年を中期目標年、2000年を長期計画として、全国15水収支ブロックごとの開発可能量と将来の水需要とのバランスを試算し、余裕のある地域から不足する地域へ水を転送することを骨子としている。

1984年に世銀により作成された「ジョルダン王国の水問題研究」では、前述の基本計画についてレビューし、地下水を都市用水、工業用水の供給に優先的に使用する方針を打ち出している。また、水資源開発計画では次のような内容を推奨している。

- ① アズラク、ジョルダン溪谷、ワジムジブ、ワジハサ地区の地下水の開発を行い、北部ジョルダンへ移送する。
- ② 深層サンドストーン層の地下水を、短期的な水需給ギャップを埋めるのに利用する。
- ③ ジョルダン川東岸の全ての支流の貯水ダムの調整機能を最大限に発揮させる。
- ④ 北部地区においては、可能な限り再生水を灌漑用水に利用する。
- ⑤ 北部ジョルダンでは地下水、地表水および都市工業用水の再利用を含めた総合水需給

システムを展開する。

ヨルダン政府は、この世銀の勧告に沿った形で全国の開発可能な水資源の見直しと、水需要の将来の動向の見直し、ならびに北部ヨルダン地域への水供給を柱とした総合的な水資源の配分の検討を実施する予定である。

計画省(MOP)は、地下水資源の全国的な再評価を総合的に行うために、図-4.2に示す5つの水系での水資源調査を実施する方針を定め、諸外国からの技術協力を求めている。今回の調査対象地域であるジャファル水系は、これら水資源の再評価計画の一翼を担うものである。

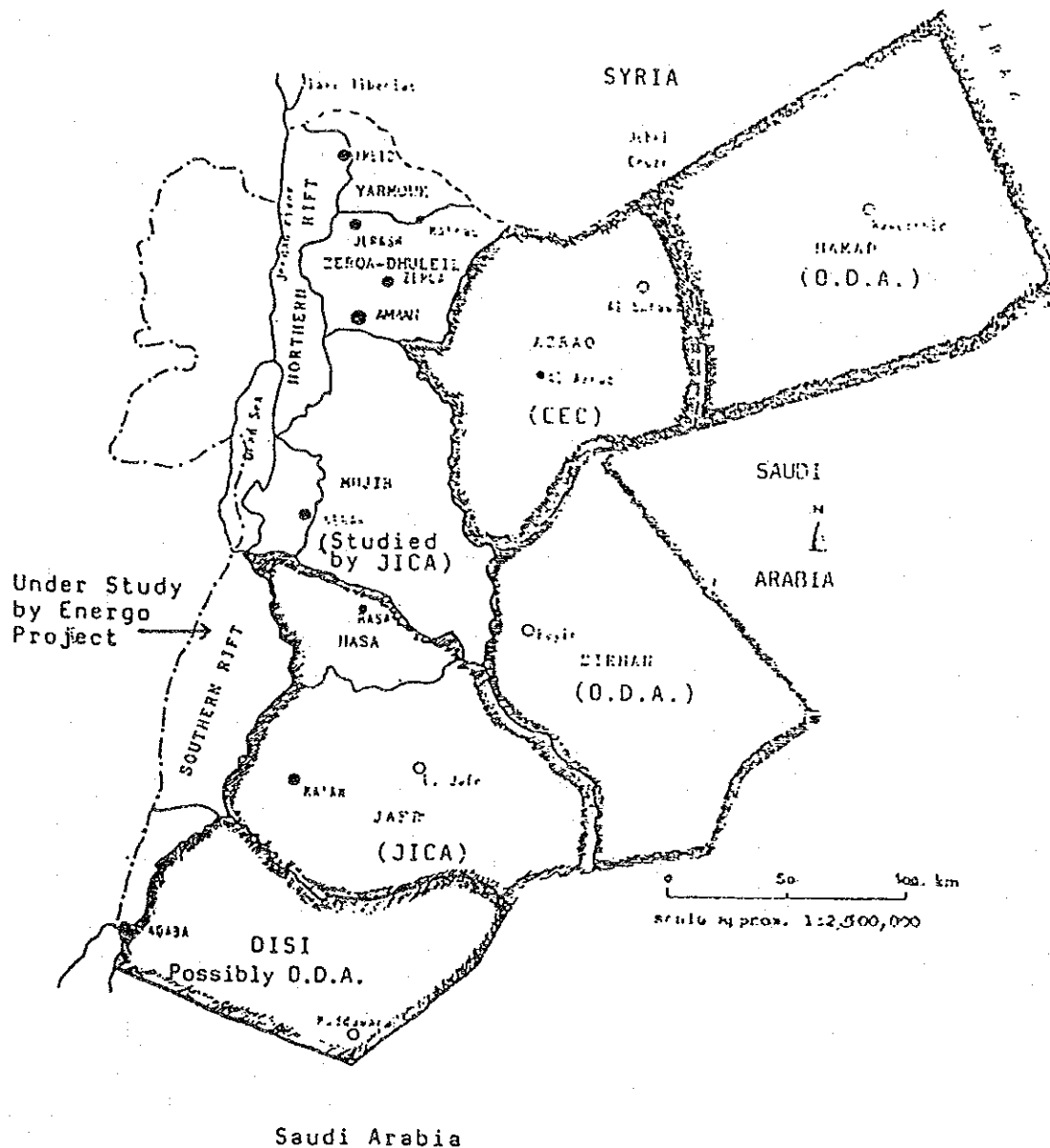


図-4.2 ヨルダン国の水系

調査対象地域での地下水開発調査は、シディヤ隣鉱石開発の目的で、同地域の南側の19地点で試錐調査（うち8地点で揚水試験）が実施されている。

したがって、本ジャファル水系地下水開発調査では、前回 JICA により実施されたムジブ水系調査と、シディヤ隣鉱石開発調査とでカバーしていない調査地域の水文地質構造を解明するとともに、同地域の開発対象帯水層である B_2/A_7 層、および A_6/A_1 層の地下水開発可能量を総括的に推定するものである。

(各 論)

V 調査対象地域の概要

V 調査対象地域の概要

5-1 社会経済条件

調査地域であるジャファル水系およびハサ水系上流域は、行政的には大半がマアン県に属し、調査地域北西のハサ水系上流域の一部がカラク県に属する。1979年の国勢調査によると、マアン県の人口は7万5千人とジョルダン国では最も人口の少ない県であり、また1961年から1979年の間の年間人口増加率も2.6%程度と最も低い数字を示している。

産業は、調査地域西側の高原地域にセメント工場といくつかのパイロットファームがあり、マアン市の東方には硅砂を原料にしたガラス工場がある。調査地域のほぼ中央に位置するエルジャファルには、浅層地下水を利用した100haほどの農場がある。またジョルダン王国の主要輸出品である燐鉱石の鉱床が、ハサやシディヤ地区で発見されている。しかしながら、調査地域はジョルダン国全体として見た場合、産業面で立ち遅れている感否めない。首都アンマンから調査地域内のマアンまでは約200kmで、この間を結ぶデザートハイウェイは一部区間が改修工事中のため、車で3時間程度要する。

5-2 自然条件

(1) 地 形

ジャファル水系およびハサ水系上流域は、中央ジョルダン平原の南部に位置している。ジャファル水系の集水域の面積は約12,200km²で、ハサ水系上流域のそれは約2,200km²であり、両地域を合わせた調査地域全体の面積は約14,400km²である。

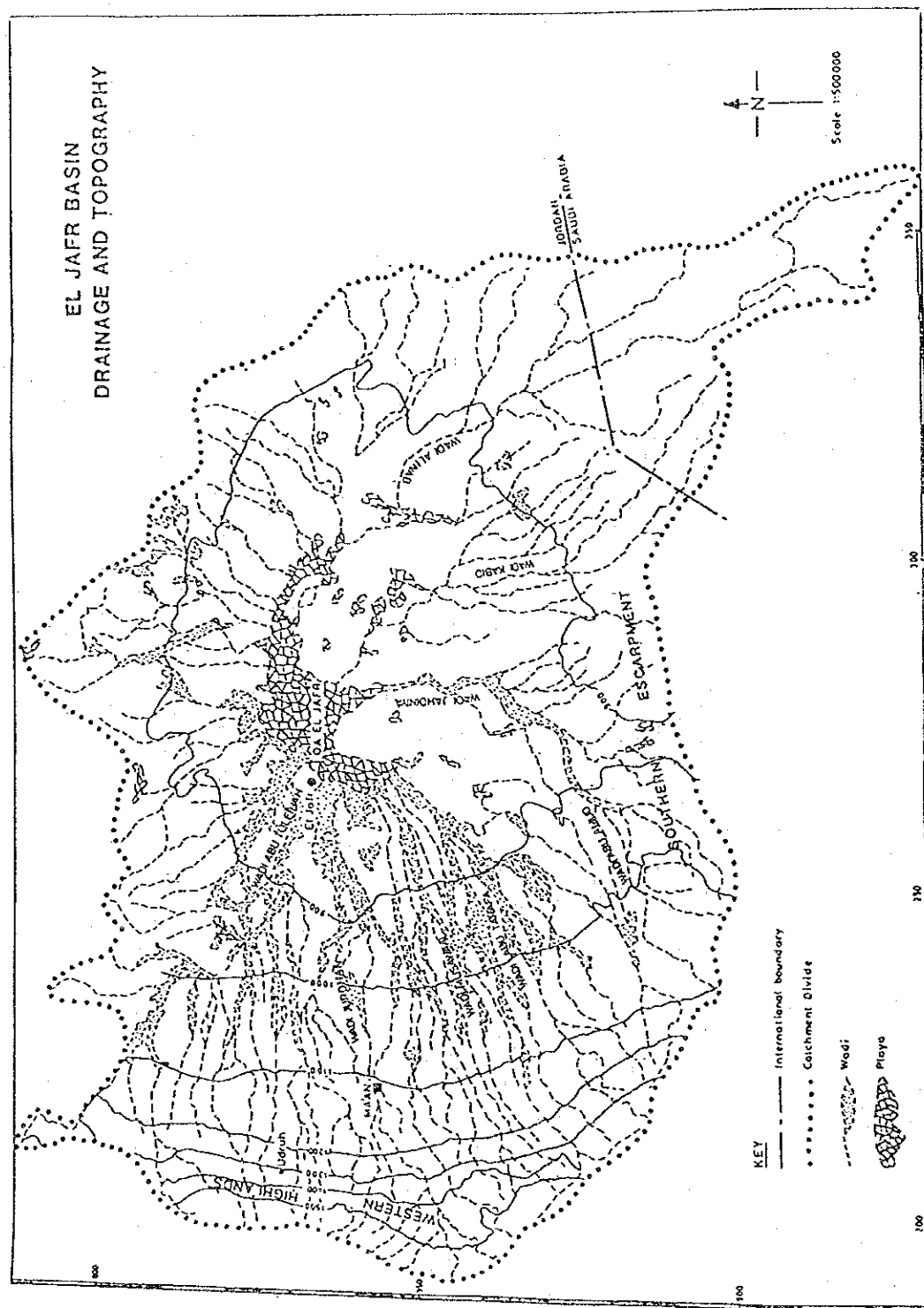
調査地域の東方は土漠地域であり、ほとんど起伏のない植生に乏しい土地が広がり、塩分を多く含む土壌が表層を覆っている。調査地域の西方は南北に延びる東部高原地域に属し、比較的起伏に富む丘陵地であり年間を通じ低草に覆われている。

ジャファル水系は図-5.1に示すように、四方から河川が放射状に流水してくる典型的な求心状水系であり、地形的にも盆状を呈している。四方から切れ込んだワジは、盆地中央部のエルジャファル付近で収斂しており、ここには洪水によって運ばれた泥が広範囲にわたり堆積している。このような盆状地はプラヤ (Playa) と呼ばれている。

(2) 地 質

ジャファル水系およびハサ水系上流域の地質層序は、表-5.1に示すとおりである。

地質層序に示すごとく、調査地域の基盤は先カンブリア代の非常に古い岩体と、その上を覆う古生代から新生代の一連の堆積物より構成される。図-5.2の地質図に示すごとく、調査地域には中部中亜紀のアジルン累層以降の堆積物しか露頭していない。古生代から下部白亜紀にかけては厚さが1,000mにも及ぶ砂岩を主体とする碎屑堆積物が主体



表—5.1 調査地域の地質層序

代	紀	世	層 群	層	記 号	層 相
新世代	第四紀	完新世 共積世	— プラトー (Plateau)	— ジャファル (Jafr)	R Ja	はんらん源堆積物 風成堆積物 湖成石炭岩
	第三紀			リジャム (Rijam)	※) B ₄	含チャート石灰岩 貨幣石を含む石灰岩
中生代	白亜紀	晩新世 ～ サントニアン世	ベルカ (Belqa)	ムワッカー (Muwaqq- ar)	B ₃	チョーク質泥灰岩、 含水錳石炭岩および 泥灰岩
				アンマン (Amman)	※) B ₂	珪化および含チャ- ート石灰岩、燐を含 む、一部化石層 (Coquina) と多少 の泥灰岩を挟在
		サントニアン ～ トロニアン世	アジルン (Ajlun)	ワジシール (Wadi Sir)	※) A ₇	砂質石灰岩、苦灰 岩、砂質砂岩、泥灰 岩
		トロニアン ～ セノマニアン世		アジルン下部 層 (Lower Ajl- un)	※) A ₁₋₆	砂岩層を挟在するノ ジュール状石灰岩、 粘土、泥灰岩、砂岩 優勢層に層相変化する。
		カンパニアン世 ～ 下部白亜紀	クルノブ (Kurnub)	スベイト (Subeihi)	K ₂	雑色の砂岩、シルト 岩、褐色の粗い砂岩 と多少の頁岩、泥 岩、泥灰岩を挟在す る。互相状
				アールダ (Aarda)	※) K ₁	塊状の白色に近い砂 岩、多少の頁岩、泥 岩、泥灰岩を挟在す る。互層状
古生代	シルル紀	ランドベリー世	クレイム (Khreim)	ムグッワラ (Mudawwa- ra)	Kh ₂	緑灰色で雲母を含む もろい泥質細粒砂岩 および頁岩
	下部シルル紀 ～ 中・下部オルドビス紀	ランピリン世		クレイム (Khreim)	Kh ₁	細粒砂岩、シルト 岩、頁岩
	下部オルドビス紀 ～ 下部カンブリアン紀		ディシ (Disi)	サハム (sahm) ～ サレブ (Saleb)	※D ₄ S D ₁	中粒～細粒石英砂岩 およびアルコース砂 岩
先カンブリア代			—		pC	火成岩、堆積岩、変 成岩から成る複合岩 体

※) 帯水層

であり (Disi 層群～Kurnub 層群), これより新しい地質時代では石灰岩系の堆積物が主体を占め, これらの厚さも1,000m以上に及ぶ。これらの一連の堆積物は, いわゆるテーチス海の堆積物であり, 幾度となく海進, 海退を繰り返しつつ堆積したものである。特に, 中部白亜紀には調査地域の南東部が丁度この海進海退の場となったため, この時代に堆積したアジルン層群は著しい層相変化を示し, 南東部に行くにつれ砂岩優勢となり, 層厚も薄くなる傾向が認められる。

ジャファル盆地は, 古生代から現世にかけて一連の堆積盆となっており, 地質時代によってその形状は異なっている。古生層の堆積の場となった堆積盆は図-5.3に示すごとく, エルジャファル付近を中心とした南-北方向の軸を持った基盤岩の盆状構造であり, 中部白亜系の堆積の場となるのはエルジャファル付近を南東端とし, 北西方向に延びるジャファル中生代-新生代堆積盆と呼ばれる向斜帯である。このような向斜帯は図-5.5に示す地質断面にも明瞭に示され, 向斜部の中央に行くにつれ堆積物の厚さが増加する傾向が認められる。調査地域の東方にはバイール・キルワ隆起帯 (Bayir Kilwa Swell) と呼ばれる地層の盛り上がりがあり, これも古生代から現在に至る堆積盆の広がり, 形状を規制していると考えられている。

調査地域内には数多くの断層が走っており, それらは大きく南-北系, 北西-南東系, 東-西系の3系統の断層に分けられる。調査地域における主要断層として次の3つの断層があげられる。

a) カラク-ワジファイハ断層 (Karak-Wadi Faiha Fault), 北西-南東系

この断層は調査地域の東部を北西-南東方向に走る約3kmもの幅を持ち, カラクからサウジアラビアのワジファイハに至る300kmもの長さを持つ大断層帯である。この断層帯の中央部は陥没しており, 明らかな構造性地溝帯 (Tectonic Graben) を形成している。

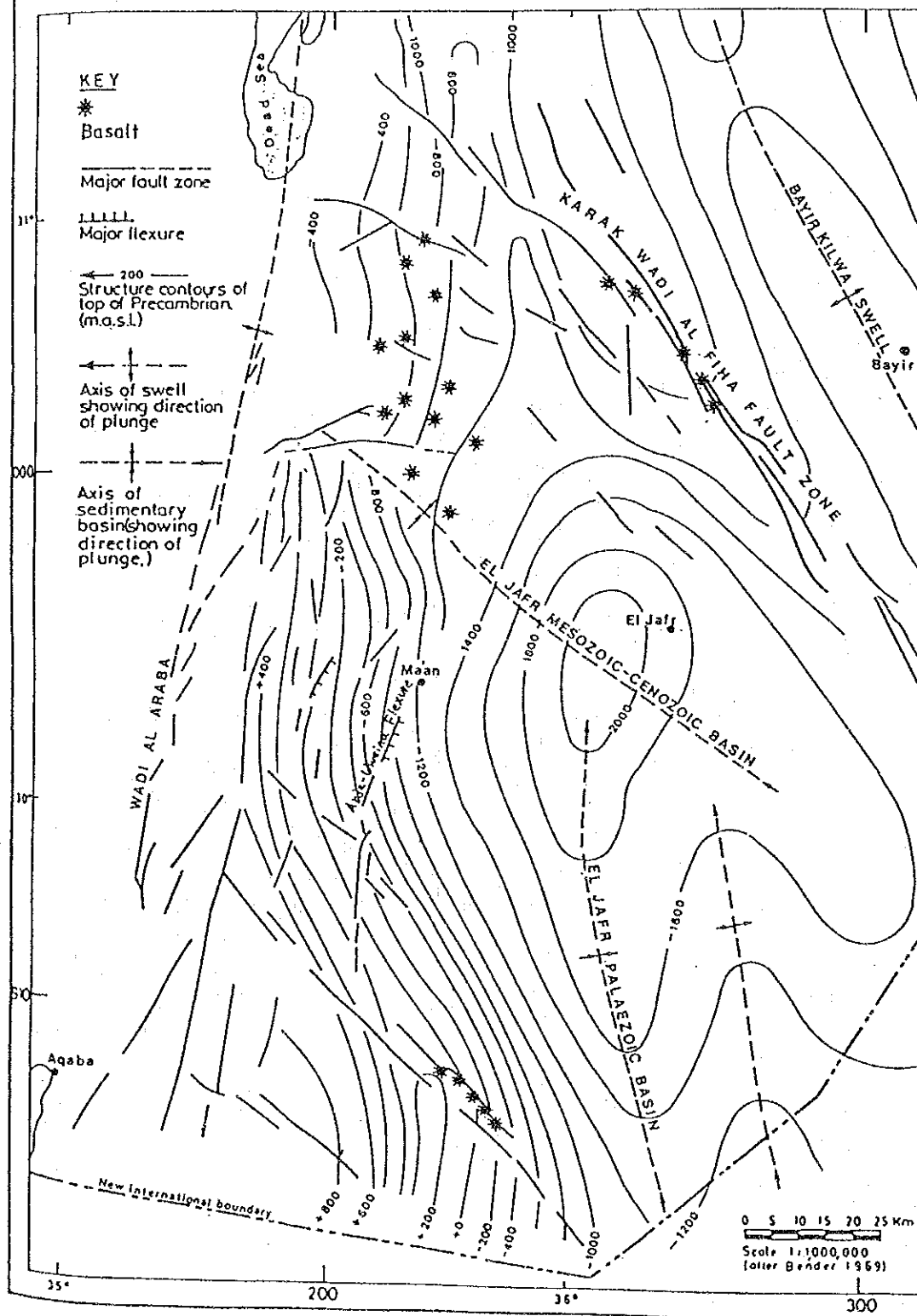
b) アルジャーウベйна撓曲 (Arja-Uweina Flexure), 南-北系

マアンの西方を南北方向に走る撓曲で, 地表には連続する断層としては表われておらず, 主に地層の急激な折れ曲がりとして表われており, それは航空写真で明瞭に判読することができる。

c) サルワン断層 (Salwan Fault) およびダナ断層 (Dana Fault), 東西系

この2断層は, 調査地域の北部を東-西あるいは東南東-西北西に走る断層で, 両者は近接している。これらの断層のうち, 調査地域に深く入り込む断層はサルワン断層で, この断層は西部では比較的明瞭だが, 東部では断層が幾条にも枝分かれしている。しかし航空写真判読によると, この断層のリニアメントはカラク-ワジファイハ断層帯を横切り東側に延びているようである。

MAIN STRUCTURAL ELEMENTS OF SOUTH JORDAN



図—5.3 調査地域の地質構造図

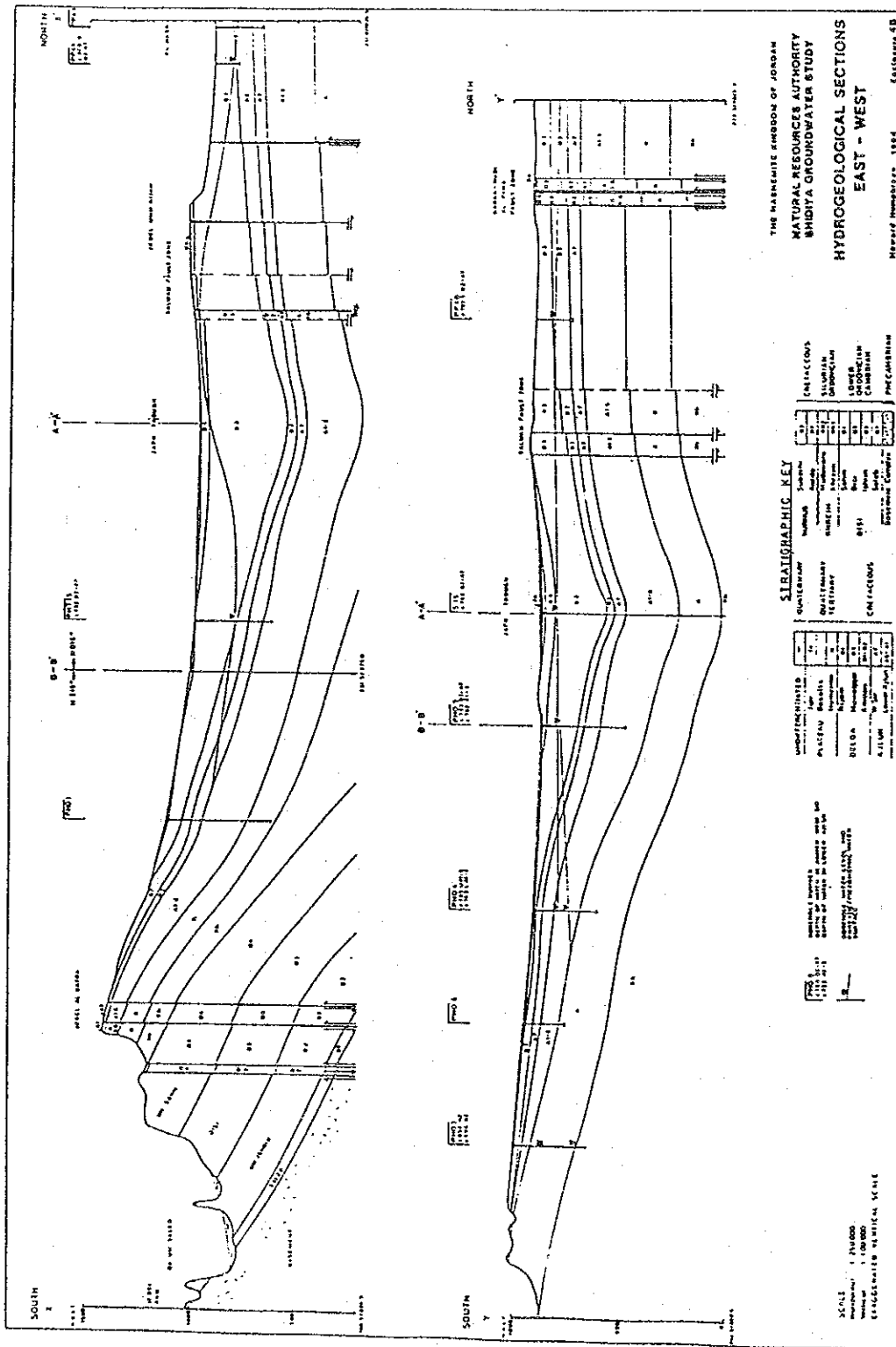


図-5.5 調査地域の地質断面図

(3) 気象・水文

調査地域は Miller (1951) の気候区分によると乾燥地域に属する。10月から翌3月の期間は水分を含んだ冷たい地中海低気圧が東に移動する途中、調査地域の西方に位置する東部高原で多くの雨を降らせてしまい、東側の砂漠地域には小量の雨しかもたらさない。中央アジア高気団が優勢な4月から9月の期間にかけては、乾燥した高気圧帯に覆われてしまうため、高温で乾燥した天候が続く。

a) 降雨量

図-5.6にジャファル水系の等雨量線図を示す。この図に示されるように、降雨量は西の高原地域から東の砂漠地域に向って急激に減少する傾向が認められ、西の高原地域の年平均降雨量が150~250mmであるのに対し、東の砂漠地域では40mm以下である。ジャファル水系全体での年平均降雨量は55.5mmである。

ジャファル水系における長期の降雨データをまとめると、10~13年周期で乾燥期と多雨期のサイクルが交互に繰り返しており、1974年から最近までは年平均降雨量が32mmと少なく、乾燥期のサイクルに入っている。

b) 気温

調査地域の気温は、高原地域および砂漠地域ともほとんど変わらず、冬季(1月)の平均気温は6~8℃で、夏季(7月、8月)の平均気温は24~27℃である。冬季(1月)の平均最低気温は1~3℃であり、夏季(7月、8月)の平均最高気温は30~42℃である。

c) 蒸発量

調査地域内に設けられているクラスーAパンの蒸発量のデータによると、西部の高原地域より東の砂漠地域の方が平均していくらか蒸発量が大きい傾向があるが、それほど顕著ではない。高原地域の日可能蒸発量は冬季(1月)が最も少なく3.2mm/日で、夏季(7月)が最も多く17.4mm/日であるのに対し、砂漠地域の日可能蒸発量は冬季(1月)で4.4mm/日、夏季(7月)で17.3mm/日である。

d) 流出

ジャファル水系では、流出量観測所はわずか1ヵ所しか設置されていない。このデータによると、降雨量に対する流出率は0%~6%で、平均流出率は1.7%という値が得られている。1986年に出された隣鉱山のためのジャファル水系での地下水調査(シディヤレポート)では、これまでのヨルダンでの水文解析等の結果からジャファル水系での流出率を2.23%と見込み、これにジャファル水系の平均年降雨量の55.5mmを乗じ、年間総流出量を16.2MCM程度と見積もっている。

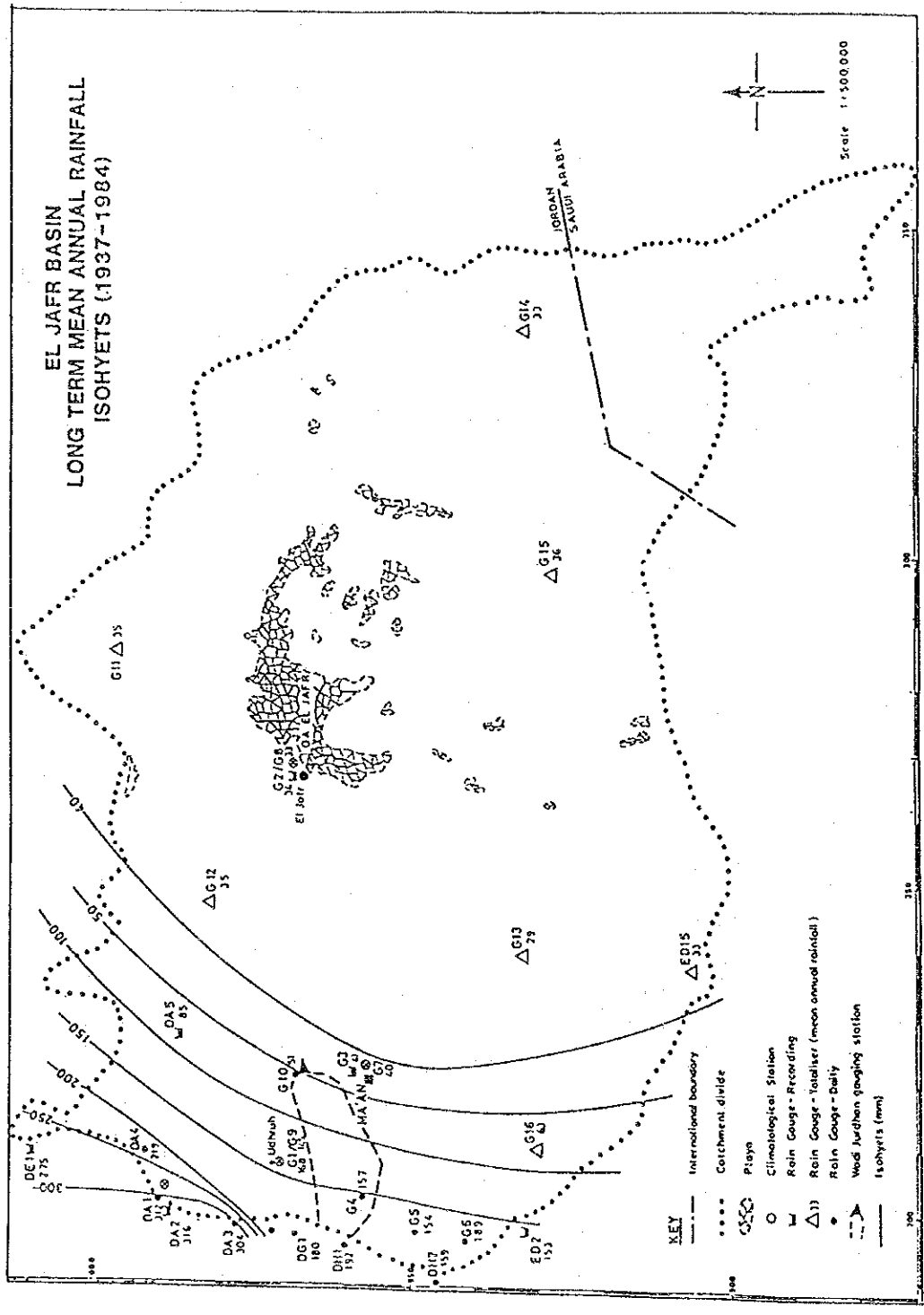


図-5.6 ジャファル水系の等雨量線図

5-3 流域内の開発状況および関連事業計画

社会経済条件の項で述べたように、調査地域はヨルダン王国の中でも開発が遅れている地域で、その大半が自然環境の厳しい砂漠地域で占められている。降雨の比較的多い西側の高原地域では農業が営まれている。

鉱工業では燐鉱石の開発調査が進められており、調査地域北方のハサ近郊と、南方のシディヤ付近に有望な鉱床が発見されている。ハサ近郊では既に稼鉱が開始されており、シディヤ付近の鉱床は、稼鉱開始に向けて必要水量を確保するための地下水調査が実施された。また最近、オイルシェールの探鉱もさかんに実施されている。

水供給の面では、人口約2万人のマアン市の都市用水を賄うために、マアン市西方約15 kmの地域に井戸群を設け、ここからマアン市に給水する計画も立てられている。

以上の他に、調査地域の西側のジャファル水系の一支流である Wadi El Arja 水系で表流水開発の計画が立てられており (Wadi El Arja Project)、高さ10~15m クラスのダム の築造がこれに含まれている。

交通事情については、集落を結ぶキングズハイウェイとその東に平行して走るデザートハイウェイが南北に伸びている。特にデザートハイウェイはマアンで分岐し、1つはアカバに、もう1つはサウジアラビアに至る。片側2車線の高速道路で、アラビア湾のアカバ市やサウジからアンマンに至る物流の根幹道路である。

観光資源はローマ時代のペトラ遺跡があり、「ジョ」政府はその観光開発に力を入れたいとしている。

(各 論)

VI 現地調査結果

VI 現地調査結果

6-1 収集資料

(1) 地形図・航空写真

今回は図-6.1に示す地形図の索引図のコピーを入手した。これによると、ジョルダン国全土は全て1/50,000地形図が作成されており、東部高原地域では1/25,000地形図も作成されている。この他に1/250,000、および1/500,000程度の大縮尺の地形図も入手可能とのことである。

地形図の入手は比較的容易で、カウンターパートのWAJの担当職員に依頼すると、数日のうちに地図センター（National Map Center）から入手できるとのことである。

航空写真は1957年頃に撮影されたモノクロの1/60,000の空中写真があり、調査地域の南端が一部かけるものの、ほぼ全域をカバーしている。この写真はWAJも所有しており、求めに応じいつでも貸与できるとのことである。なお1981年に新規に撮影した写真もあるとのことであったが、これを入手するには“Geographic Center”に依頼しなければならず、これには種々の手続きが必要とのことであった。

なお、空中写真の国外持ち出しは許可されていない。

(2) 気象・水文資料

調査地域の気象、水文資料はWAJの当該担当部署で一括して収集管理しており、求めに応じいつでも資料を出せる体制となっている。降雨データはすべてパソコンにインプットされており、他の蒸発量や流出量等のデータも電算化されてはいないものの、よく整備、保管されている。表-6.1に調査地域周辺の降雨量観測所と測定期間を、図-6.2にそれらの位置を示す。流量観測所は調査地域内に図-6.3に示すように2ヵ所設置されており（G1およびCF1）、1963年に観測が開始されている。

(3) 地質および水文地質資料

a) 地質図

地質図は以下のものが刊行されており、入手可能である。

○1/250,000 Geological Map of Jordan, Aqaba-Máan, 1968, by German Geological Mission in Jordan

○1/250,000 Geological Map of Jordan, Bayir, 1968

○1/500,000 Geologic Map of Jordan, 1975, by Friedrich Bender

b) 水文地質資料

調査地域では以下に示す水文地質調査が実施されている。これらの資料はWAJの図書館で貸し出してくれる。

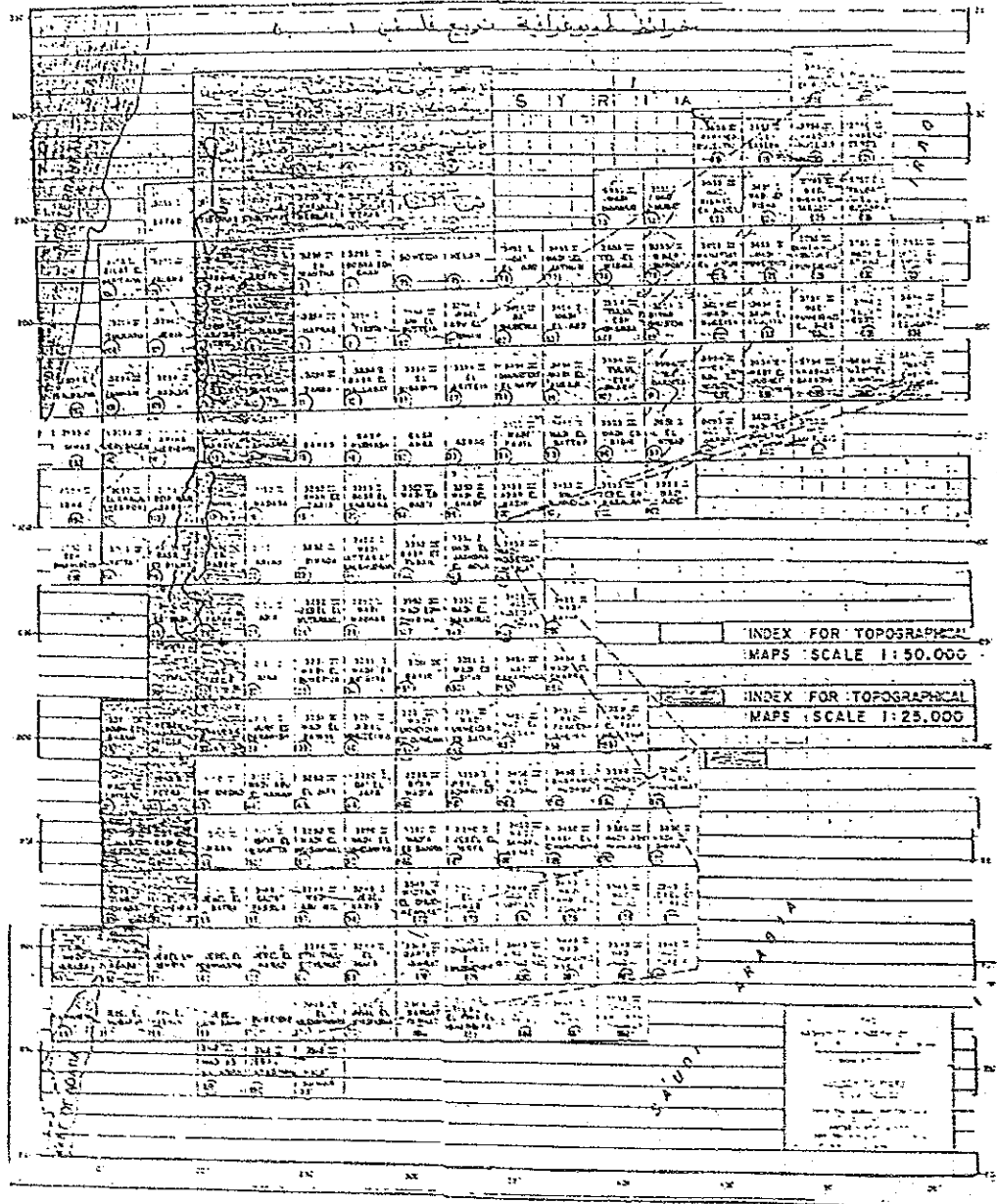


図-6.1 地形図インデックスマップ

ABUJAMIEH, M.M., 1967.

A Quantitative Assessment of the Groundwater Potential of the Rijam Formation Aquifer in the Jafr Basin.

UN Special Fund-FAO, Sandstone Aquifers of East Jordan Project Report, Amman.

AGRAR UND HYDROTECHNIC GmbH, (AHG), 1977.

○ National Water Master Plan of Jordan, Volumes I to VII.

National Resources Authority, Amman.

BUNDENSANSTALT für Bodenforshung, 1972.

Electric Analog Studies of the Amman-Wadi Sir Aquifer in the Shaubak-Ras en Naqb area. Geological Survey Federal Republic of Germany, Hannover.

KITCHING, R., 1976.

Aqaba Water Supply : Appraisal of the Qa Disi Groundwater resources using a Digital Model.

Institute of Geological Sciences.

表-6.1 雨量観測ステーションとその観測期間

Ref No.	Station	Period-of-Records Available Year
		32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
DA1	Shaubak School	32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
DA2	Shaubak Ag. Stn	64 68 72 76 80 84
DA3	Beir Ed-Dabbaght	64 68 72 76 80 84
DA4	Ifjeij	48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
DA5	Uneiza Railway Stn.	64 68 72 76 80 84
DE1	Dana	48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
DG1	Wadi Musa	32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
DG3	Hay	64 68 72 76 80 84
DH1	Taiyiba Janoubiya	64 68 72 76 80 84
DH2	Dilagha	64 68 72 76 80 84
ED2	Ras En-Naqb	52 56 60 64 68 72 76 80 84
ED15	Fass'ua Station	64 68 72 76 80 84
G1	Udruh School	CLOSED
G2	El Jafr (Police-Post)	32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
G3	Ma'an (School)	32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 72 76 80 84
G4	Basta	64 68 72 76 80 84
G5	Sadaqa	64 68 72 76 80 84
G6	Qurein	64 68 72 76 80 84
G7	Ma'an Railway Stn.	64 68 72 76 80 84
G8	Jafr Evapn. Stn.	CLOSED
G9	Udruh Evapn. Stn.	CLOSED
G10	El-Jhurdan G.S.	CLOSED
G11	Wadi Guzelma	64 68 72 76 80 84
G12	Gabr Es-Sawwa	64 68 72 76 80 84
G13	Abu Tarafa	64 68 72 76 80 84
G14	Inab	64 68 72 76 80 84
G15	Kibd	64 68 72 76 80 84
G16	Jebel El-Batra	64 68 72 76 80 84

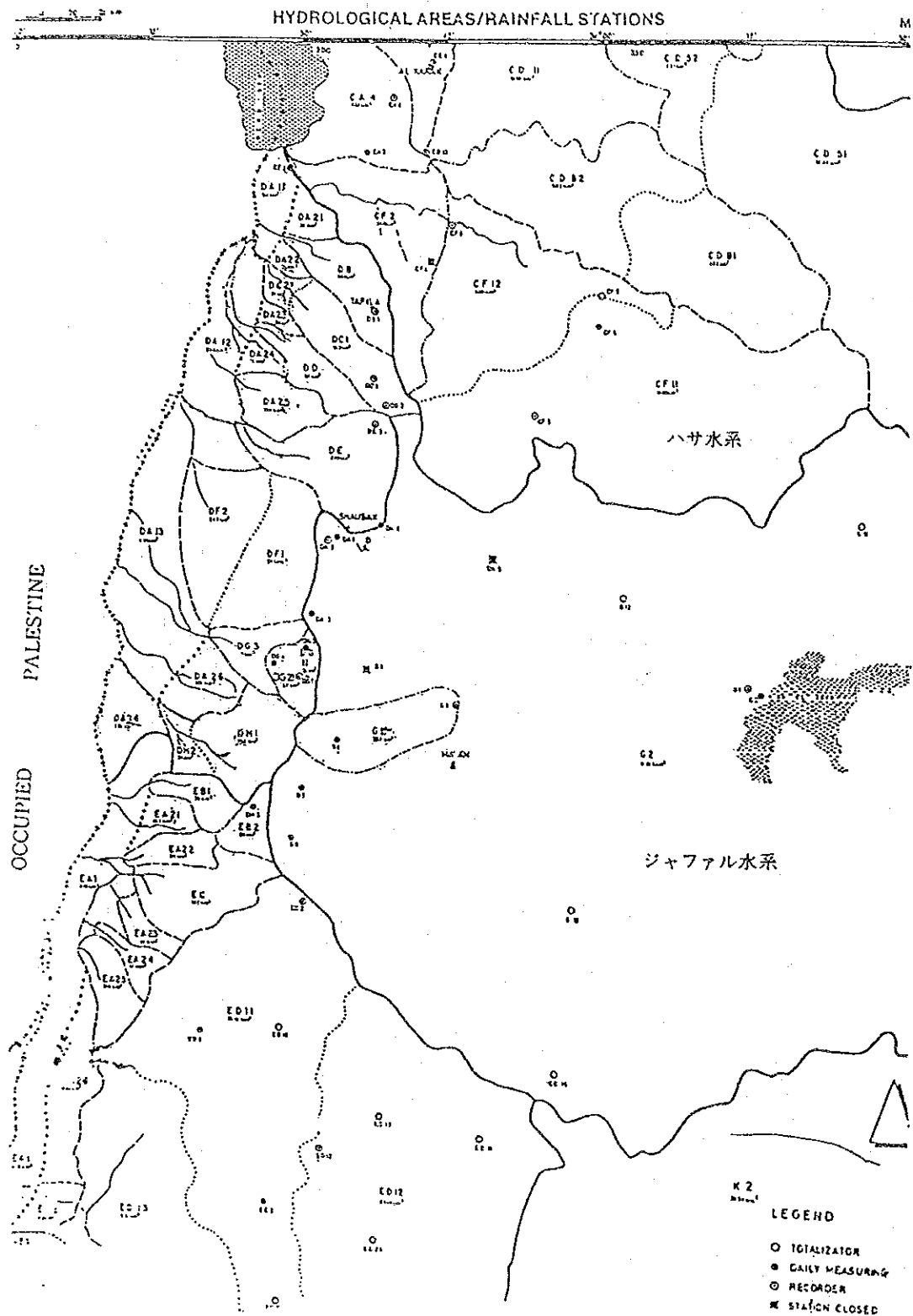


図-6.2 降雨量観測ステーション位置図

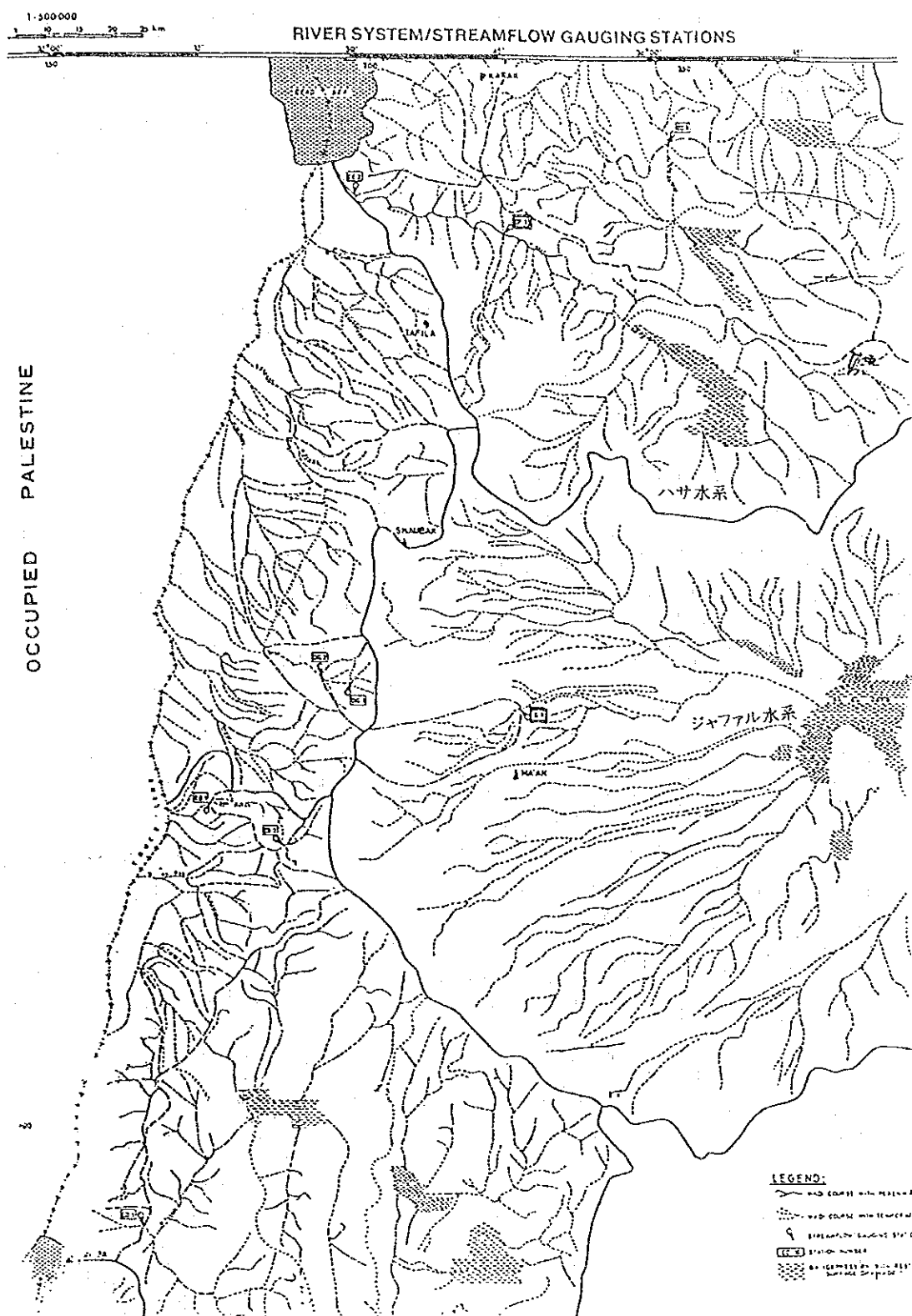


図-6.3 流量観測所位置図

HEIMBACH, W., 1965.

The Geological and Hydrogeological Survey in the Area Between the Hejaz railway, Qatrana-El Hasa and the Eastern Border of Jordan.

German Geol. Mission in Jordan, Rep. No. 42.

HOWARD HUMPHREYS

- 1977 Aqaba Water Supply, Hydrogeological Study Report

- 1978 Report on Pumping Simulation of Proposed Qa Disi Phase I Boreholes

- 1982 Modelling of the Disi Sandstone Aquifer-Southern Desert of Jordan.

○ - 1986 Groundwater Resources Study in the Shidiya Area

LLOYD, J.W., 1969.

Investigation of the Sandstone Aquifers of East Jordan. The hydrogeology of the Southern Desert of Jordan.

United Nations Development Programme, Food and Agricultural Organisation
LA : SF/JOR9. Technical Report 1, Rome.

PARKER, D.H., 1970.

○ Investigation of the Sandstone Aquifers of East Jordan. The Hydrogeology of the Mesozoic-Camozoic Aquifers of the Western Highlands and Plateau of East Jordan. United National Development Programme Food and Agricultural Organisation AGL : SF/JOR9. Technical Report 2, Rome.

WEISEMANN, G., 1966.

The Geological and Hydrogeological Survey in the Area between Ma'an-Ras En Naqb and El Jafr-Mushayish Kabid (Central Jordan). German Geological Mission in Jordan.

以上の水文地質関連報告書のうち、丸印(○)をつけた3冊の報告書をWAJの図書館より借りてきている。以上の関連報告書の中でも“Groundwater Resources Study in the Shidiya Area, by Howard Humphreys”(以下シディヤレポートと呼ぶ)は、1984年から1986年にかけて調査地域の南半分を占める範囲で水文地質調査を行っており、過去に実施された一連の水文地質調査結果、井戸資料を取りまとめて解析している。この報告書は一連の関連資料の中でも、最も新しく、かつ最も重要なものであると言える。

c) 井戸資料

調査地域で掘削された井戸は約120本にものぼり、これらの井戸資料(深さ、孔径、スクリーン位置、揚水量、地下水位、揚水試験結果、水質試験結果、座標、標高等)は、すべてファイルされ WAJ のさく井部で管理されており、井戸の番号を示すと、それぞれの井戸資料を閲覧できる体制となっている。シディヤレポートには、このうち B₂/A₇層を貫いた80本の既設井戸の井戸位置が図-6.4のように示されている。また1977年の National Water Master Plan of Jordan の第四巻 Groundwater Resources にも、それまでにジョルダン王国内で掘削された井戸の番号、座標、帯水層、水理定数などの主要データが表にまとめられている。これら井戸データの他に、調査地域西方の高原地域にはいくつかの湧泉があるが、その流出量の測定も WAJ により定期的に行われており、その期間は20年以上に及んでいる。

なお、保管されている井戸データは掘削当時のものであり、その後の調査は行われていない。このため調査解析に用いる主要な井戸データは、現地調査を行い再確認する必要がある。しかし稼働中の井戸はすべてキャッピングされており、水位の測定は困難なため、廃棄井戸や点検補修中の井戸を探して水位を測定しなければならない。また、ほとんどの井戸に流量計が設置されていないことから、正確な揚水量の測定は困難で、井戸の管理人からの情報の入手や簡易な流量測定を試みる必要がある。

今回現地踏査を行ったエルジャファルの浅層地下水(B₄帯水層)の井戸群は、1962年から現在まで27本掘削された。灌漑に伴う地下水の塩水化が進んだために、現在はわずか4本しか稼働しておらず、そのうちの2本は休止中であった。稼働中の井戸の1本(PP-30)の揚水量は約100l/分で、電気伝導度は、4,000 μ s/cm であるとのことであった。ちなみに前述した1977年の井戸台帳には、この井戸の電気伝導度は909 μ s/cm と記載されている。

(4) 開発計画関連資料

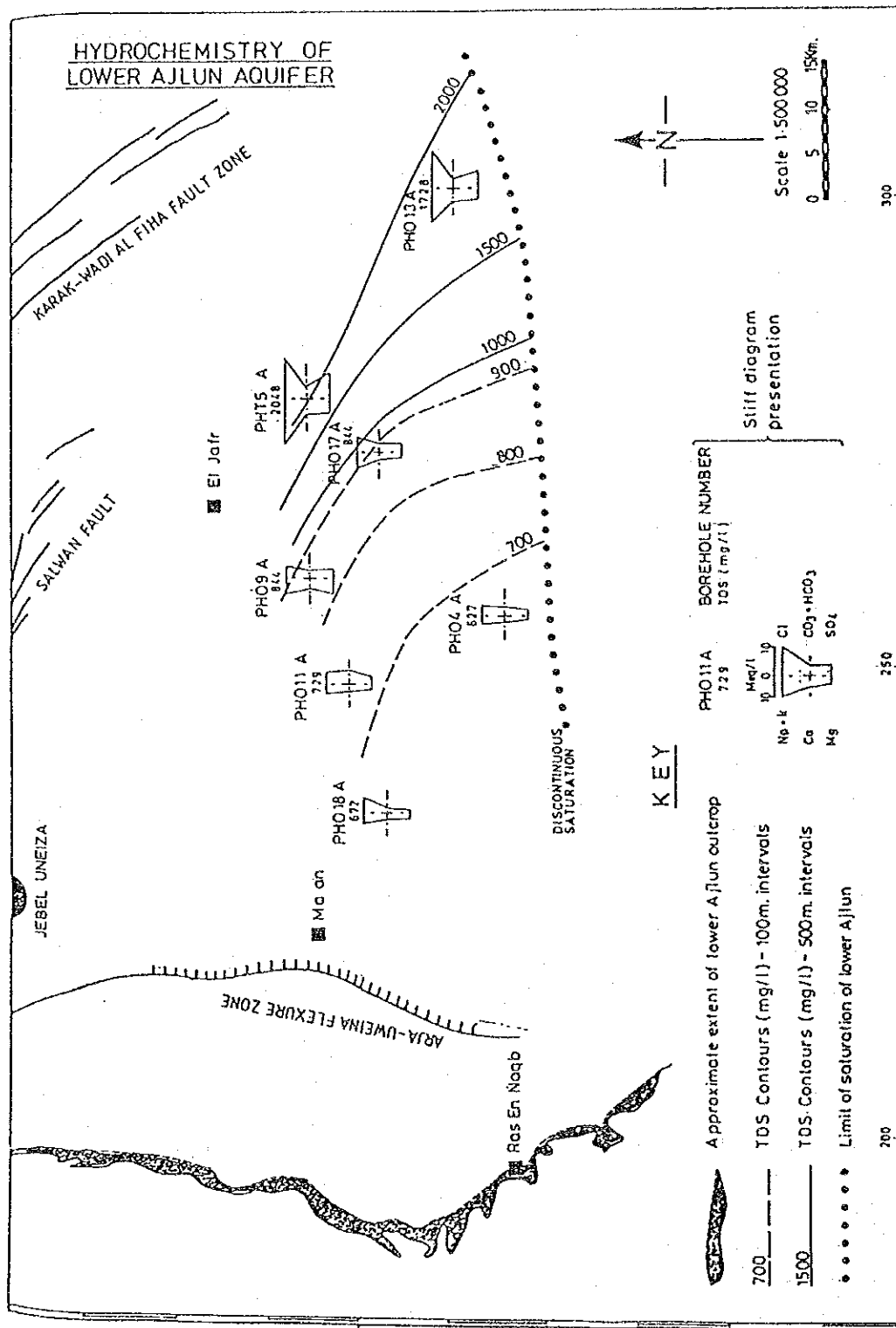
WAJ 担当者の話では、調査地域の地下水開発計画は2つあり、その1つは調査地域南方のシディヤ隣鉱山のための地下水開発計画で、西暦2000年までに年間18.4MCMの水量を確保しようとするものと、もう1つは人口が約2万人のマアン市の都市用水を確保するため、マアン市西方約15kmの場所に井戸群を設け、ここからマアン市都市用水を供給しようとするものである。

6-2 地下水開発調査

(1) 水文地質概要

a) 帯水層

調査地域の帯水層は大きく次の5層に分けられる。この5層の層序は表-6.2に示すと



図—6.4 下部アジレン帯水層の水質分布

おりである。

表—6.2 調査地域の帯水層

時 代	層	記号	層 相
第三紀	リジャム帯水層	B ₄	チャート層を挟む石灰岩
上～中部白亜紀	アンマン-ワジシール帯水層	B ₂ /A ₇	チャート層, チャートノジュールを含む硅化した石灰岩
中部白亜紀	下部アジルン帯水層	A ₁₋₆	砂岩層を挟むノジュール状石灰岩, 粘土層も挟在する。層相変化激しい。
下部白亜紀	クルノブ帯水層 (アールダ層)	K ₁	塊状砂岩, 互層状
オルドビス紀～カンブリアン紀	ディシ帯水層	D	中粒～細粒石英砂岩およびアルコース砂岩

イ) ディシ帯水層 (D)

ディシ帯水層はアラビア半島における重要な帯水層である。その透水量係数は約400～600m²/日と大きく、また帯水層の平均厚さは1,000m以上に及ぶと推定され、その地下水の賦存量は莫大な量である。また、この地下水は年代的に2万年～3万5千年前の化石水であるが、TDS値が200～400ppmと低く、飲料水としても供給できるほど水質が良質である。

しかしながら調査地域においては、ディシ帯水層までの深さは1,000m以上あるので、開発に多額の費用が必要とされることから、現時点では開発の対象とはなっていない。

ロ) クルノブ帯水層 (K₁)

一般にクルノブサンドストーンと呼ばれる帯水層で、層相は砂岩とシルト岩および泥岩の互層となっている。クルノブ層群は上部のスペイヒ層 (K₂) と下部のアールダ層 (K₁) に分けられるが、上部層はシルト岩、泥岩が優勢であるため、上位の下部アジルン帯水層 (A₁₋₆) とクルノブ帯水層とを分ける難透水層となっている。

下部クルノブ帯水層 (アールダ層, K₁) の厚さは平均で約150m程度であり、帯水層である砂岩層自体の厚さはその約半分の80m程度である。また、この帯水層の透水量係数は20～80m²/日と、それほど大きくはない。井戸1本当りの揚水量も平均0.7m²/分程度と少なく、それに伴う水位降下は60m以上にも達する。

クルノブ帯水層に賦存される地下水の年代は1万年から3万年という測定結果が出ている。これは化石水と判定され、現在地表面から降雨による涵養をほとんど受けていないものと考えられる。また、TDS値も1,000から3,000という高い値を示している。

クルノブ帯水層の調査地域における深さは500~700mで、その地下水面の深さも150~400mと深い。

以上のように、クルノブ帯水層 (K_1) は産出能力が低く、その分布も深く、また水質も良好ではないことから、開発のポテンシャルは低いと判断され、現時点では開発の対象とはならないと判断される。

ハ) 下部アジルン帯水層 (A_{1-6})

アジルン累層の下部層は、1986年のシディヤレポート以前には難透水層、あるいは上位のアンマンーワジシール帯水層と下位のクルノブ帯水層を繋ぐ、水みち程度の評価しか受けていなかった。しかし、1986年のシディヤレポートの調査で、その実態が少しずつ明らかにされ、今では有望な帯水層の1つに数えられている。

下部アジルン帯水層は、石灰岩、砂岩、泥灰岩、頁岩の互層から成っており、水平方向の層相、層厚の変化が著しい。調査地域の北および西側では砂岩はほとんど含まないが、南および東に行くにつれ石灰岩が少なくなり、砂岩が多くなるとともに厚さも薄くなり、南部ではほとんど欠如してしまう。調査地域南東部では、下部アジルン帯水層は砂岩層となり、また両者を隔てる難透水層が欠如することから、上位のアンマンーワジシール帯水層と連続し、1つの帯水層を形成するようになる。

下部アジルン帯水層の厚さは、場所によって大きく変化するが、調査地域中央部では300m程度であり、その地表からの深さは340m程度である。

下部アジルン帯水層の透水量係数は平均して320m²/日程度であり、有効間隙率は3%程度である。これらの数値から、調査地域の下部アジルン帯水層に貯留されている地下水量は400億トン以上と見積もられている。

下部アジルン帯水層の地下水年代は2万年以上と古いことから、化石水と判定されている。調査地域の南部および東部では、上位のアンマンーワジシール帯水層と連続していると考えことから、上位層 (B_2/A_7 層) からの涵養は無視できないものと考えられる。下位のクルノブ帯水層への漏水は可能性として考えられるが、両者の間には厚い難透水性の上部クルノブ層群 (K_2) が分布しているため、非常にわずかであると考えられている。下部アジルン帯水層が南部および北部に露頭することから、地表からの涵養の可能性はあるが、その量はわずかであろうと考えられる。

水質は、データが少ないため全体像はつかめていないが、図-6.4に示すごとく、北東方向に向ってTDS値が増加する傾向が認められ、調査地域の南西部では700ppm以下であるが、北東方向に行くに従い増大し、2,000ppm以上となっている。この事象から、調査地域西南部に露頭する下部アジルン帯水層からの涵養の可能性が指摘されている。

ニ) アンマンーワジシール帯水層 (B_2/A_7)

アンマンーワジシール帯水層は、上位のアンマン層 (B_2) と下位のワジシール層 (A_7) の2層から構成され、調査地域で最も有望な帯水層とされている。上位のアンマン層は、チャート層を含む石灰岩で割れ目の多い地層で、下位のアンマン層は砂質石灰岩～石灰質砂岩より構成され、空隙が多く、また溶食空洞も発達する。両者は水理的に連続しているため、一括してアンマンーワジシール帯水層 (B_2/A_7 帯水層) と呼ばれる。下位のワジシール層は、南東方向に行くに従い砂分が多くなる傾向が認められる。

調査地域におけるアンマンーワジシール帯水層の深さは場所によって著しく異なり、南部では100m 以下であるが、北西部のジャファルトラフ中央部では800m 以上にも及ぶ。また、その厚さは南東に行くに従い薄くなり、調査地域中央部で100m 程度のものが南東部では40m 程度となる。

アンマンーワジシール帯水層の透水量係数は、調査地域中央部で200～2,000 m^3 /日の幅を持っており、有効間隙率は3%程度であろうと推定されている。有効間隙率を3%とした場合のアンマンーワジシール帯水層に貯留されている地下水量は、約200億トンと推定されている。

アンマンーワジシール帯水層の地下水は、図—6.5に示すごとく東に行くに従い劣化し、西部の高原地域でTDS 値が500ppm 以下であるのに対し、東部では3,000ppm にも達している。また地下水の年代の測定によると、化石水 (2万5千年以上前) と新しく涵養された水 (5千年以降) が入り混っており、全体的に見て西から東に行くに従い、年代が古くなる傾向が認められる。このことは、地下水の涵養は主としてアンマンーワジシール帯水層が露頭する西部の高原地域や南部で行われ、地下水がゆっくりと東方に流動する間、地層中の塩類を溶かし込むためと判断されている。

垂直方向の涵養は、上位に難透水性の泥灰岩を主体とするムワッカー層 (B_3) が厚く堆積しているため、極くわずかであると考えられる。しかし前述したように下位の下部アジルン帯水層への漏水は両者を隔てる難透水層が不完全なため、特に調査地域の南部および西部においては無視できないであろう。

ホ) リジャム帯水層 (B_4)

リジャム帯水層は、ジャファル水系の中央部にのみ分布 (図—6.6参照) し、結晶質石灰岩、チャート層、チョーク質石灰岩より成る。全体層厚は最大40m 程度と薄く、アンマンーワジシール帯水層とは厚い難透水層のムワッカー層 (B_3) により隔てられている。リジャム帯水層は一部泥質の堆積物により被圧されているところもあるが、大半は不圧状態にあり、地下水位は地表から15～30m のところに位置している。

HYDROGEOLOGICAL MAP OF THE RIJAM AQUIFER

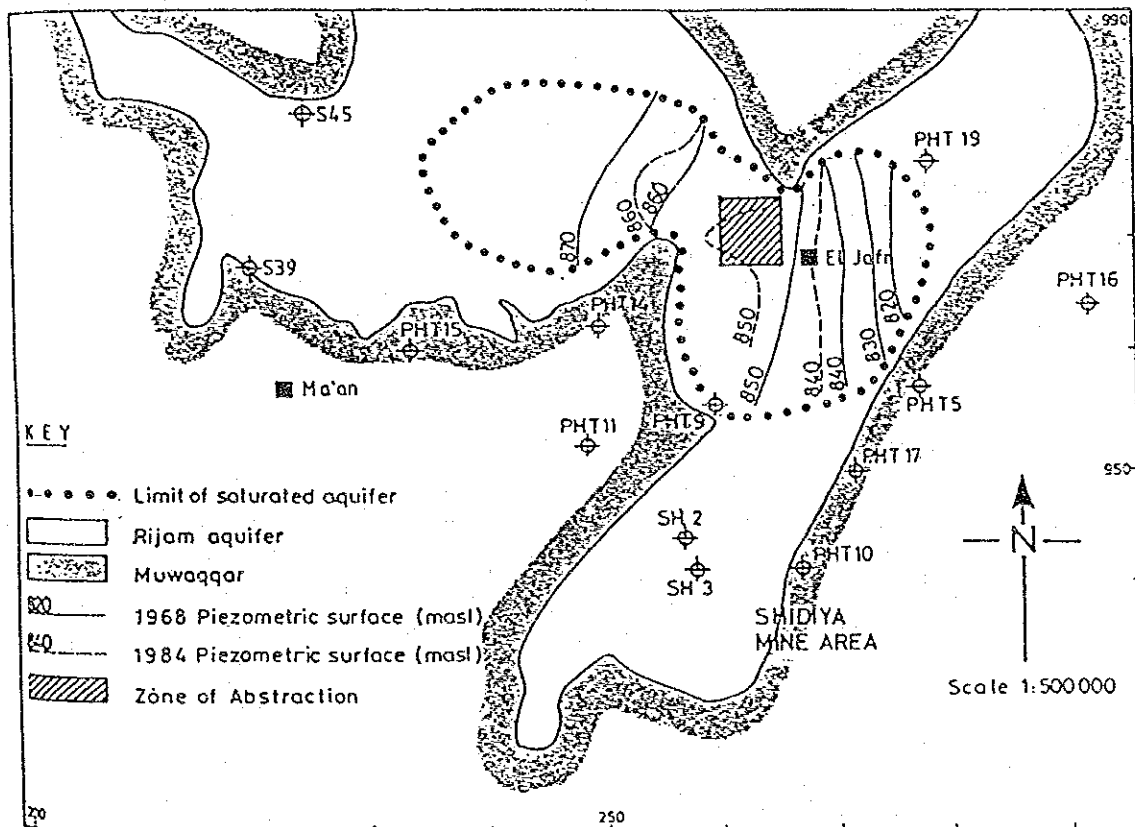


図-6.6 リジャム帯水層の水文地質図

リジャム帯水層の透水量係数は揚水試験結果によると700m³/日から10,000m³/日と非常にばらつきが大きく、有効間隙率も1%から10%という幅をもっている。有効間隙率を5%とした場合、貯留されている地下水量は7億5千万トンと見積もられる。

この帯水層は洪水により涵養されており、地下水の年代が若い(<5,000年)という事からも、これが裏付けられている。このような不圧地下水の場合、安全揚水量は涵養量によって定められるものであるが、当地域では詳しい水文調査が行われていないため、涵養量は年間100万トン程度であろうと言われてはいるが、これは推測の域を出ていない。なお、エルジャファルでは現在2本の井戸でこの帯水層から年間約80万~90万トンの揚水しており、これで灌漑を行っている。この地域では灌漑方法に工夫がなかったことにもよるが、地下水中の塩分が太陽熱により濃縮され帯水層へ再び還流したため、当初の地下水のTDS値が500ppm程度であったのが最近では3,000ppmにも上昇し、塩類障害が起っている。

へ) 水文地質構造

ここでは、アンマンーワジシール帯水層、下部アジルン帯水層の地質構造について述べる。

図-6.7に示す調査地域の水文地質図に示すように、調査地域には3本の主要断層が通っており、これらが地下水の流動を規制しているものと考えられる。

西側にあるアルジャーウベйна撓曲 (Arja-Uweina Flexure) は、これらの中で最も強く地下水の流動を規制しているもので、この撓曲を境に地下水位に大きなギャップが生じており、明らかに地下水の流れを阻害している。

北方のサルワン断層 (Salwan Fault) は、このように明瞭な影響を地下水の流動に与えていないが、調査地域の北部を東西方向に延びる地下水コンターの尾根沿いに延びており、これはハサ水系とジャファル水系の分水界ともほぼ一致する。このように、この断層も何らかの影響を地下水流動に与えていると言われている。

東側のカラクーワジファイハ断層 (Karak-Wadi Fiha Fault) は非常に大規模な断層ではあるが、今までの調査では、この断層が地下水流動を大きくは規制していないだろうと予測されている。

カラクーワジファイハ断層の東側には、バイール・キルワ隆起帯 (Bayir Kilwa Swell) と呼ばれる地層の盛り上がりがあり、これが水文地質構造上重要な境界となっていることが指摘されている。

アンマンーワジシール帯水層の地下水の流動方向は、地下水位等高線からジャファル水系では基本的に西から東への流れであり、ハサ水系上流域では北東方向である。このように、既往の調査結果からは、ハサ水系とジャファル水系の間には地下水の出

入りがないと想定されている。

下部アジルン帯水層の地下水の流動方向は、水文地質図に示すように調査地域南部では南東方向である。

アンマンーワジシール帯水層と下部アジルン帯水層は、全体に難透水層によって隔てられているけれども、調査地域の南東部ではこの難透水層が欠如し両者は水理的に連続しているとされる。しかし、調査地域の北部および東部ではほとんど調査が行われておらず、この状況が明らかになっていない。

図-6.7の B_2/A_7 帯水層の地下水位等高線図に示されるように、調査地域西部では動水勾配は非常に急であり、東部では急激に緩くなっている。これは帯水層の透水性によるものと考えられており、西側での B_2/A_7 帯水層の透水係数は東側に比べ、かなり小さくなっているであろうと推定されている。なお、アンマンーワジシール帯水層 (B_2/A_7) の分布は、図-6.8および図-6.9に示すような形状となっている。

(2) 水文地質調査の現況

調査地域の大半を占めるジャファル水系での水文地質調査は、§6-1(3)で述べたように現在までいくつか実施されている。最近では、調査地域南部のシディヤ地区で発見された燐鉱山への水供給を目的とした地下水調査 (Groundwater Resources Study in the Shidiya Area, Howard Hamphrys, 1986) が、ジャファル水系全域を対象として実施されている。この調査では既往調査結果および既往井戸データに加え、新規に19地点で井戸掘削、揚水試験を実施し、ジャファル水系全体の水文地質構造、主としてアンマンーワジシール帯水層の水文地質構造の骨格を明らかにしている。また、この調査では、ジャファル水系全域について、アンマンーワジシール帯水層を対象として地下水シミュレーションを実施し、シディヤ鉱山で必要とされる水量を揚水した場合の地下水位低下等について検討を行い、その安全揚水量を求めている。

このように、上記の報告書は既往の調査の中でも今回の本格調査を実施する上で最も重要な報告書と言える。

(3) 水文地質調査の課題

シディヤレポートにより調査地域の水文地質構造の骨格がほぼ明らかになっているが、今後の課題は次のような事項を調査にできるだけ組み入れる必要がある。

- a) 調査地域の北部および東部には井戸データがほとんどなく、この地域の水文地質構造、水理定数、地下水位、水質等を明らかにする。
- b) 調査地域の東部を通るカラクーアルファイハ断層帯は非常に大規模な断層帯(地溝帯を形成している)であるが、これについての水文地質資料が不足し、水文地質構造上の位置付けが明確になされていない。このため、この断層帯についての水文地質特

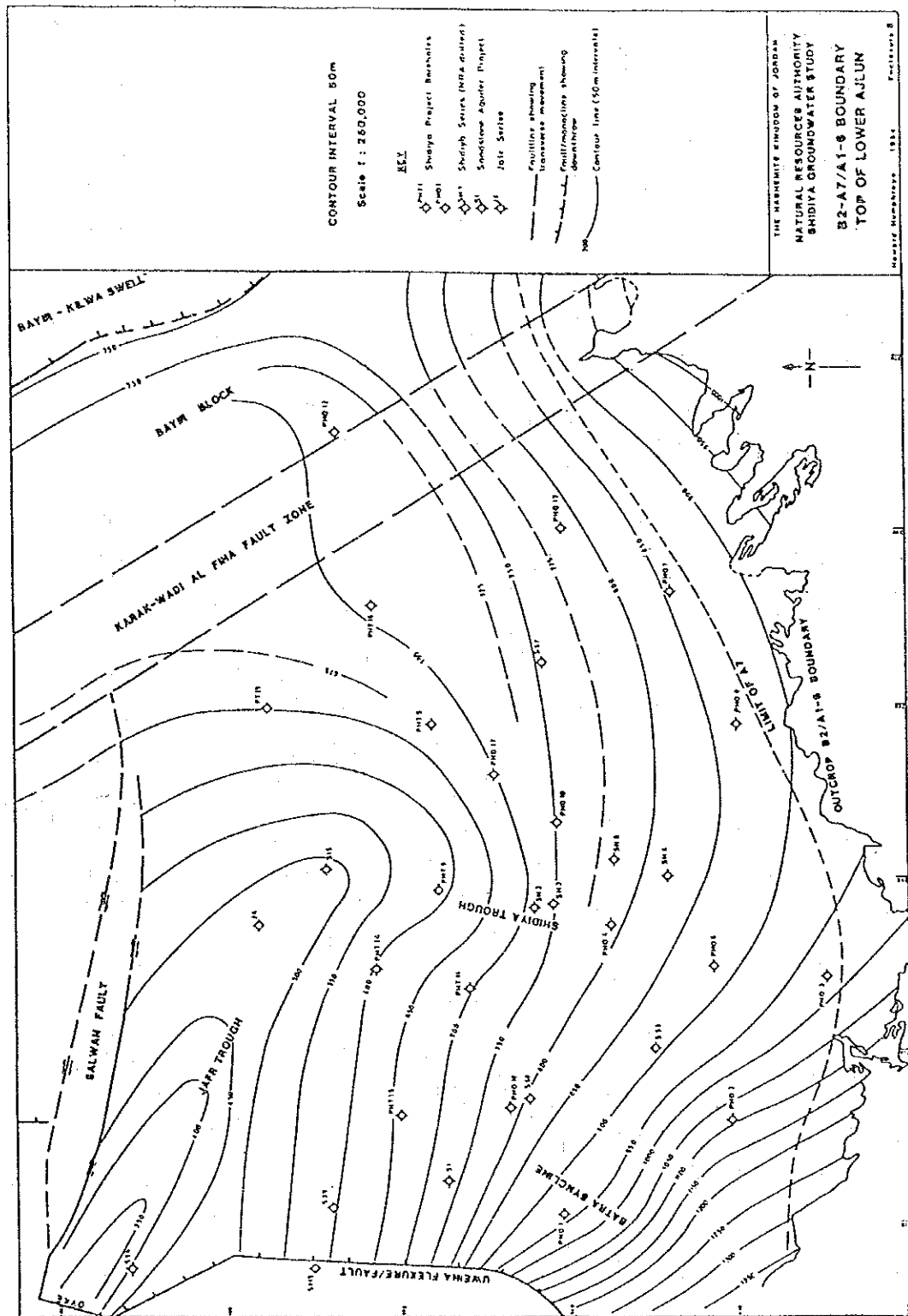


図-6.8 下部アジレン帯水層上面コンクマープ

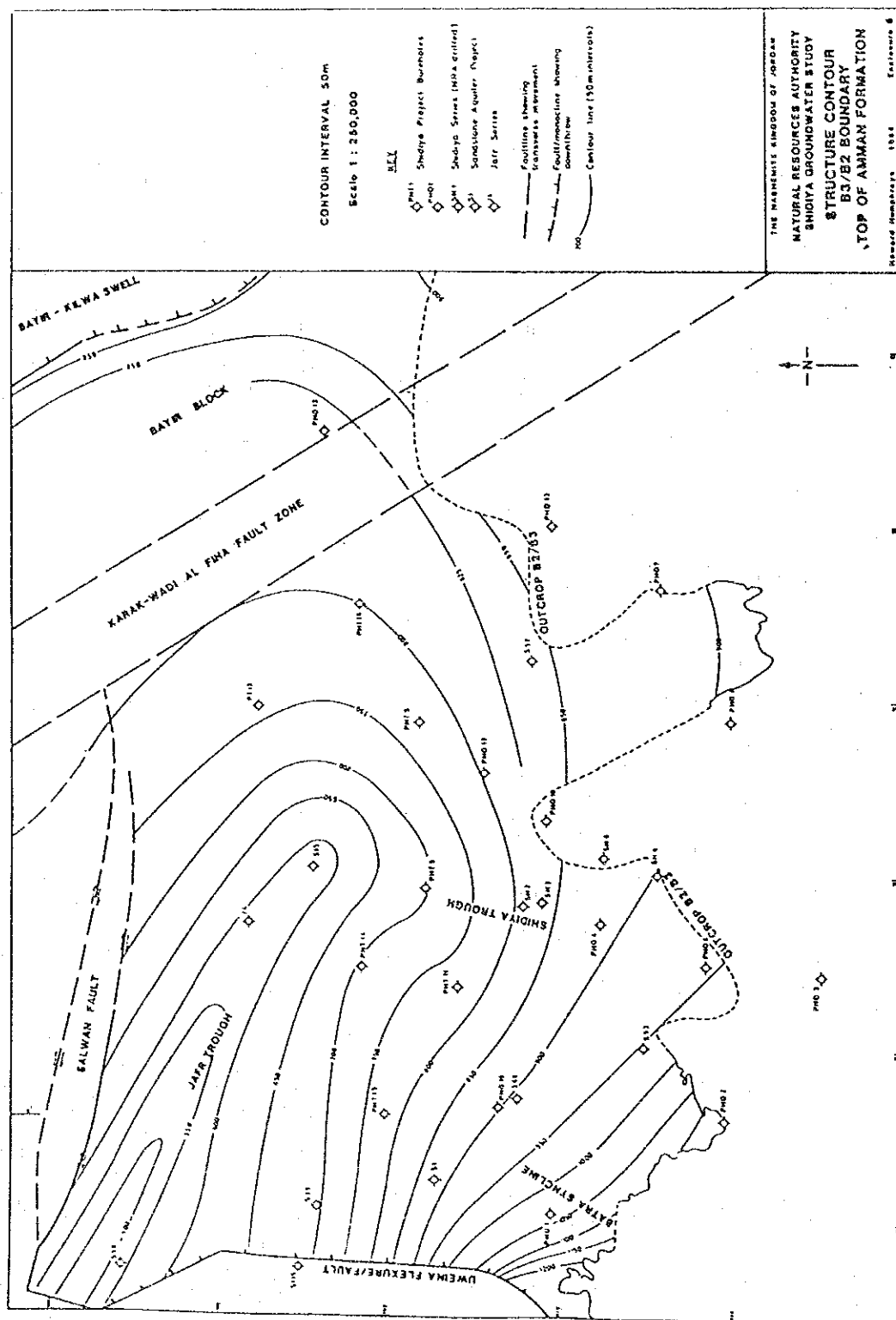


図-6.9 アンマン-ワジシール帯水層上面コンターマープ