

ジョルダン国地下汽水淡水化計画調査事前調査報告書

ジョルダン国 地下汽水淡水化計画調査 事前調査報告書

平成6年1月

JICA LIBRARY



J 1123550(4)

国際協力事業団

平成六年一月

307
618
555

社調二
JR
94-024



1123550(4)

序 文

日本国政府は、ジョルダン・ハシェミット王国政府の要請に基づき、同国の地下汽水淡水化計画にかかる調査を実施することを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施することといたしました。

当事業団は、本格調査に先立ち、本件調査を円滑かつ効果的に進めるため、平成5年10月11日より10月30日までの20日間にわたり、当事業団国際協力専門員・丸尾祐治氏を団長とする事前調査団（S/W協議）を現地に派遣しました。

調査団は本件の背景を確認するとともにジョルダン国政府の意向を聴取し、かつ現地踏査の結果を踏まえ、本格調査に関するS/Wに署名しました。

本報告書は、今回の調査をとりまとめるとともに、引き続き実施を予定している本格調査に資するためのものです。

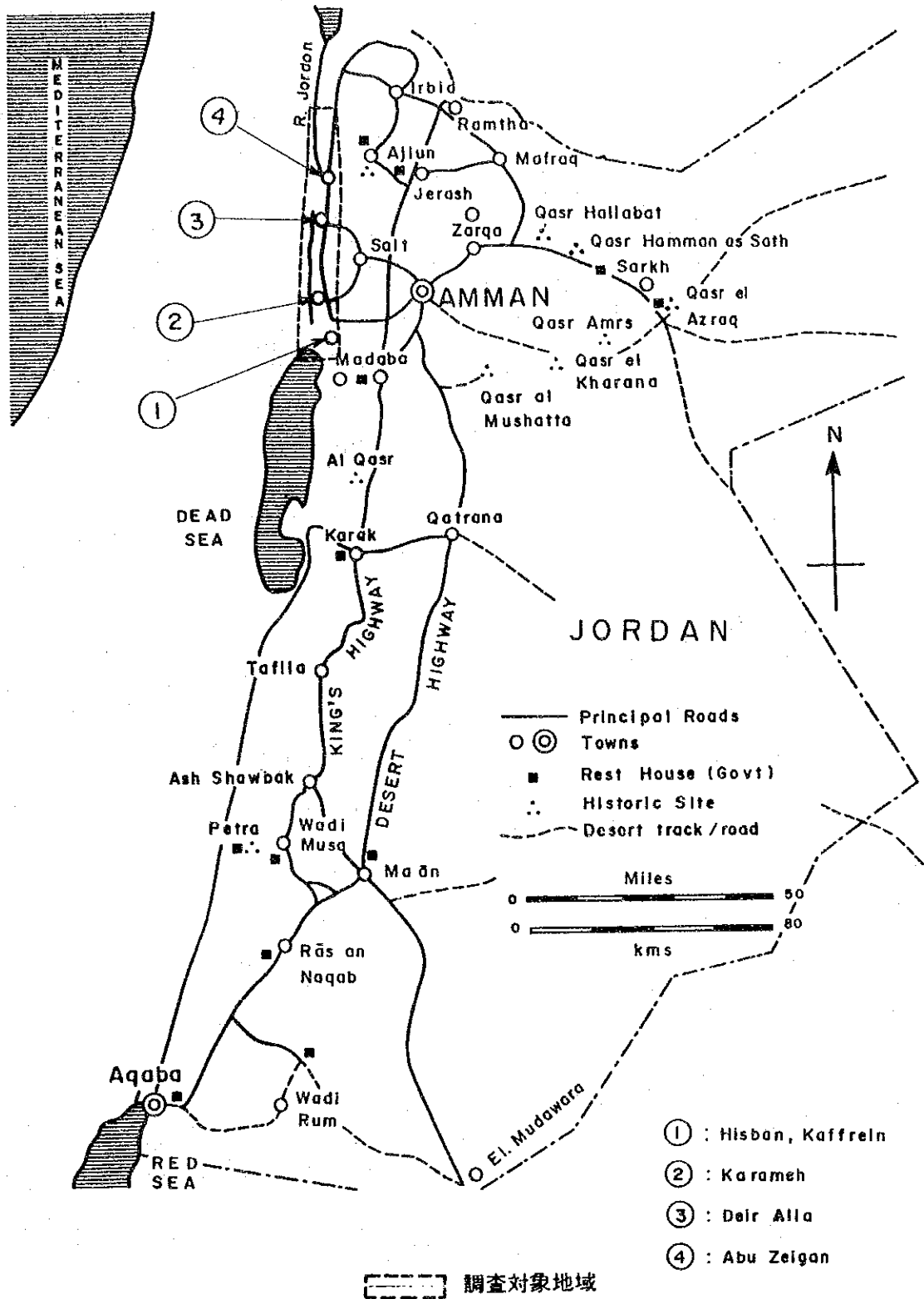
終りに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位にたいし、心より感謝申し上げます。

平成6年1月

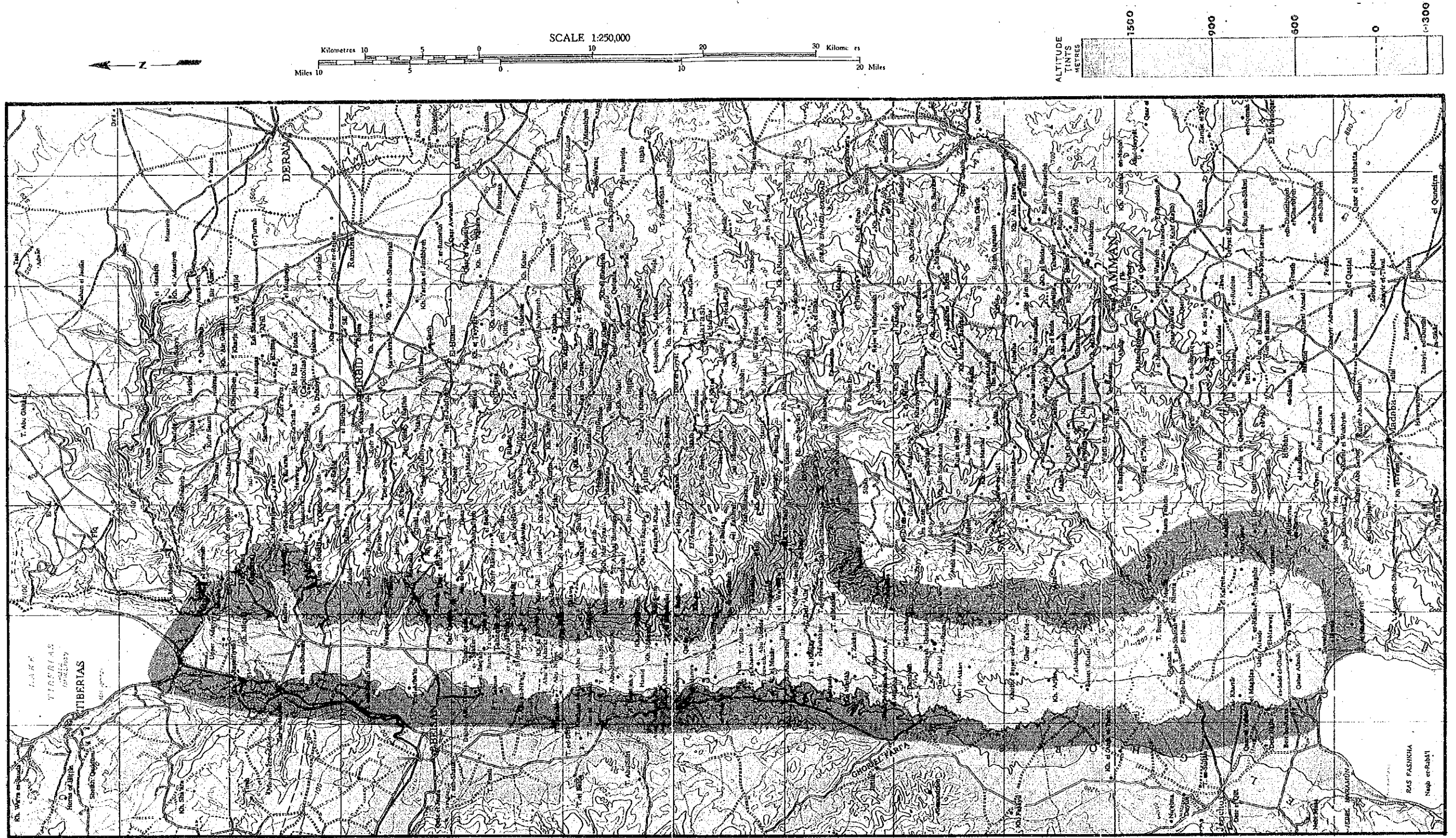
国際協力事業団

理事 佐藤 清

シヨルダン国 調査位置案内図



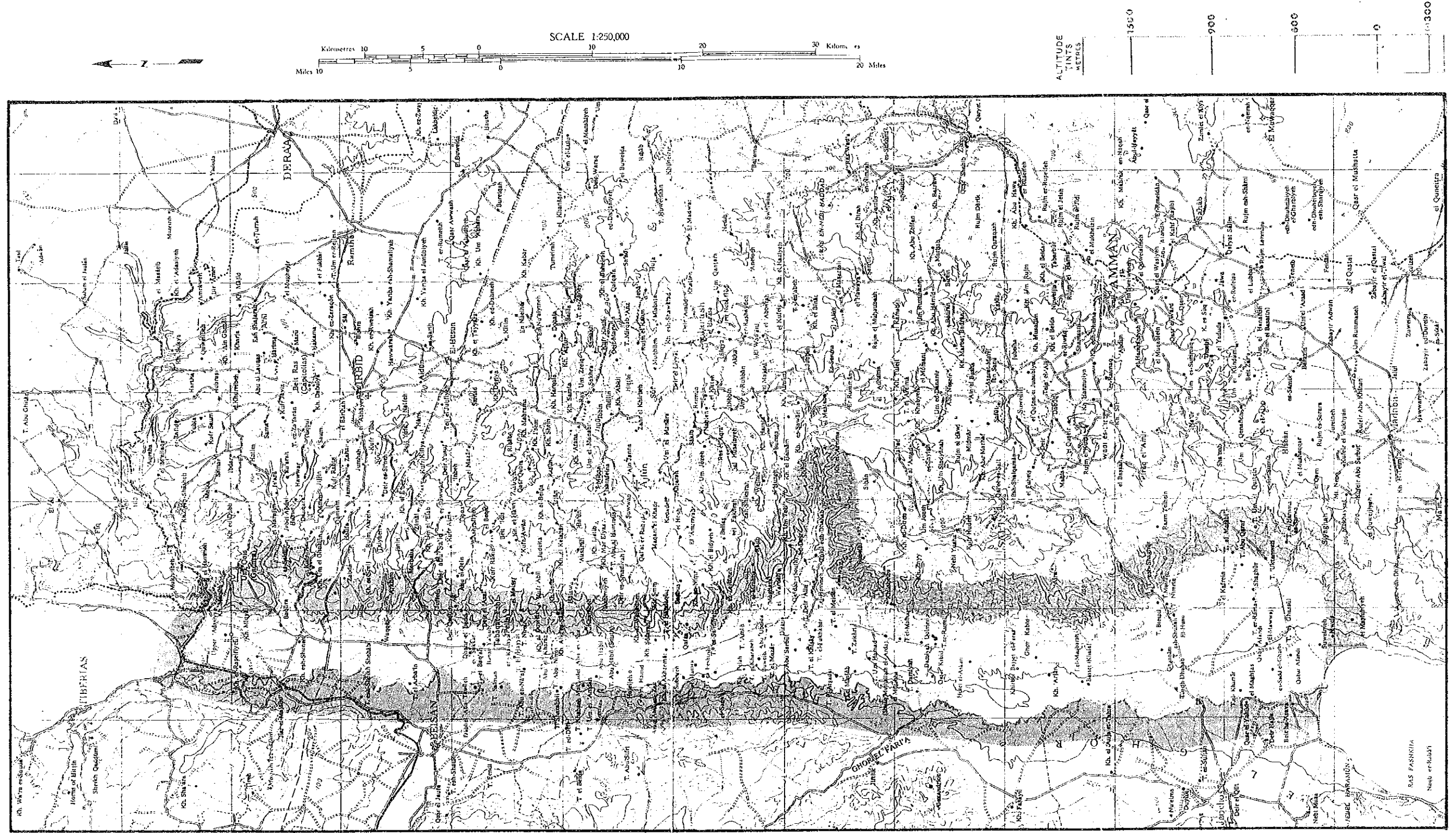
調査位置図



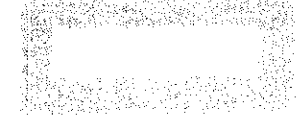
調査対象地域



調査位置図



調査対象地域





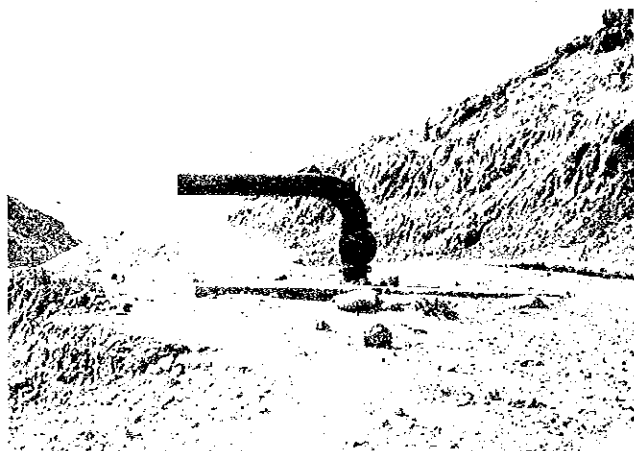
▲ ジョルダン溪谷全景 (ディルアラ付近)



▲ ワディヒスパン全景 (H-2より上流の全景)



▲ ヒスパンH-2全景



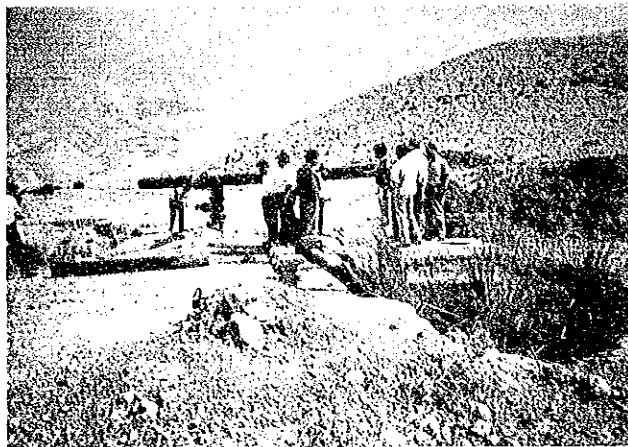
▲ ヒスパンH-1 (汽水の自噴井)
湧水量は1984年1月で580 l/s、同年2月に孔内崩壊
(深度30m以深、裸孔のため)により、9月に69 l/s
に低下した。



▲ ヒスパンH-2近影 (汽水の自噴井)
湧水量は1984年6月556 l/s。老朽化のため漏水が
激しい。



▲ カアフレイン KF-6 (汽水の自噴井)
(湧水量 14 ℓ /s)



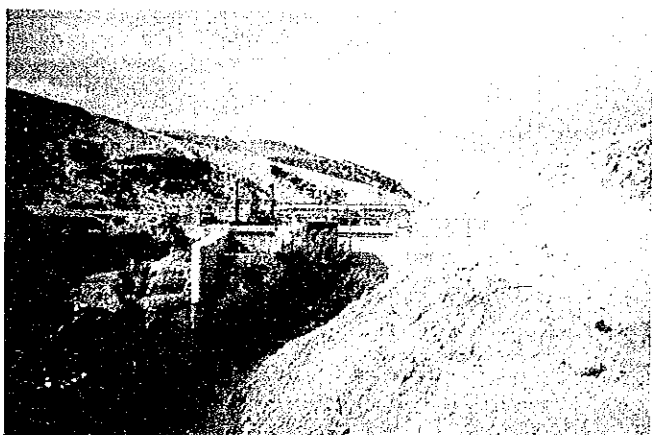
▲ カアフレイン KF-4 (淡水の自噴井)
(生活用水に利用されている)



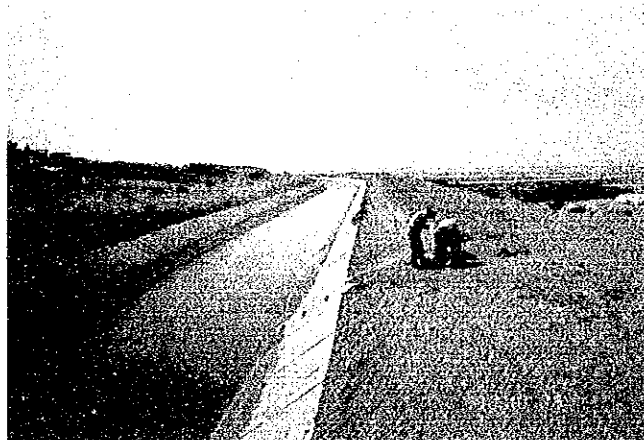
▲ ジョルダン川支流の汽水自噴井



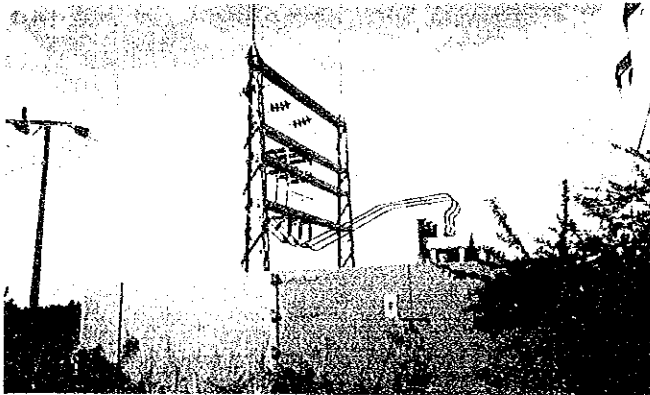
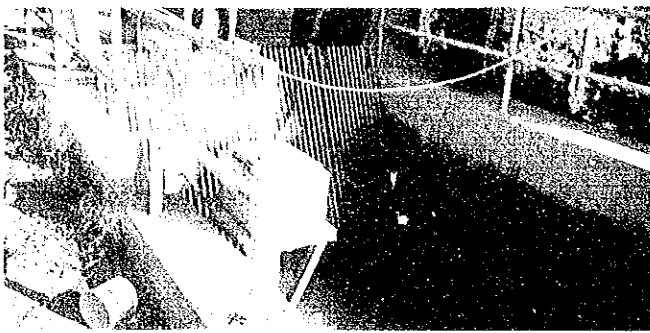
▲ ジョルダン川支流全景



▲ ワディヒスバン7km上流の淡水をパイプラインで導水し、
下流で集水し生活用水その他に利用している。
(ワディヒスバン下流は汽水)



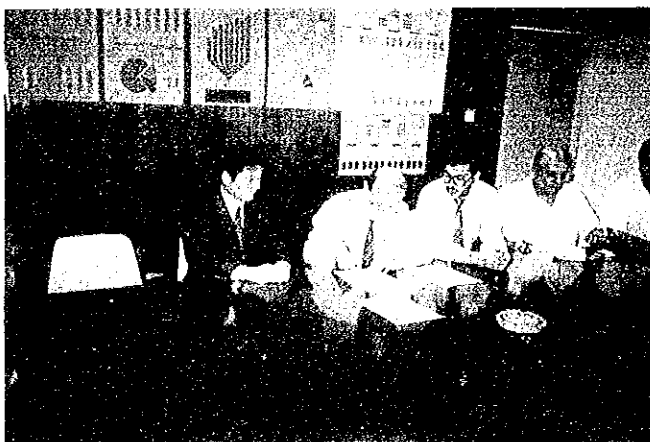
▲ キングアブドラカナルと水質検査



▲ ディルアラからアンマン市への送水施設
(最大送水能力 45 MCM / 年)
取水施設 (上)、ポンプ場 (中)、配電施設 (下)



▲ 計画省におけるS/W署名



水・灌漑省におけるS/W署名

目 次

序 文

ジョルダン国調査位置案内図

調査位置図

調査写真

第1章 事前調査の概要	1
1-1 事前調査の目的	1
1-2 調査団の構成	1
1-3 調査日程	1
1-4 事前調査内容	2
第2章 事前調査結果の概要	4
2-1 要請の背景・経緯	4
2-2 要請の内容	4
2-3 プロジェクト形成調査の結果	6
2-4 日本側調査対処方針	8
2-5 協議の経緯及び結果	10
第3章 ジョルダン国の概要	14
3-1 自然概況	14
3-2 社会状況	14
3-3 経済状況	16
3-4 ODAの現状・実績	18
第4章 調査対象地域の概要	22
4-1 自然条件	22
4-2 社会・経済	36
第5章 ジョルダン国の水資源開発と本調査のかかわり	38
5-1 既存資料と開発基本構想	38

5-2	水需要の動向	38
5-3	水資源開発	42
5-4	地下汽水開発計画の位置付け	44
第6章 現地調査結果		49
6-1	水理地質	49
6-2	水質	51
6-3	水資源開発状況	62
6-4	地下汽水開発の可能性	64
第7章 地下汽水淡水化調査		66
7-1	淡水化方式の比較	66
7-2	汽水の淡水化方式選定に関して	68
7-3	外部電源の利用について	68
7-4	ジョルダンにおける淡水化プラントの現状について	69
第8章 環境予備調査		74
8-1	対象地域の自然環境及び社会環境	74
8-2	環境法制度	75
8-3	スクリーニングとスコーピングの結果	75
第9章 本格調査の内容		82
9-1	調査の目的	82
9-2	調査の基本方針及び留意事項	82
9-3	調査項目及び内容	84
9-4	調査工程	106
9-5	報告書	106
9-6	要員計画	107

附 属 資 料

1. 要 請 書	109
2. SCOPE OF WORK	114
3. MINUTES OF MEETING	120
4. 収集資料リスト	126
5. 面談者リスト	128
6. 飲料水の水質基準	129
7. 工業用水の水質基準	135
8. 送電線網図	137
9. 地質図の説明書	138
10. 販売地図リスト	143
11. 別添資料等	145

第1章 事前調査の概要

1-1 事前調査の目的

本調査は、ジョルダン国政府の要請に基づき、同国の水資源有効利用のため、地下汽水開発計画を策定するものである。今回の事前調査は、先方政府関係者との協議、現地踏査、既存資料の分析を通じ、本プロジェクトにかかる先方政府の意向、要請の背景及び要請内容、調査の範囲等の確認を行うことを目的とする。また、我が国の協力の可能性の検討を踏まえ、我が方対処方針を説明し、S/W案を協議し、これを署名する。また、併せて、調査対象地域の状況も調査し、本格調査の実施方針を検討する。

1-2 調査団の構成

<u>氏名</u>	<u>担当</u>	<u>所属先</u>
丸尾 祐治	総括／地下水	国際協力事業団国際協力専門員
田辺 毅	協力政策	外務省経済協力局開発協力課
岸 篤	給水計画	㈱パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
高田 榮	水理地質／環境	㈱パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
小原 繁夫	ボーリング計画	日本技研株式会社
縮野 純三	淡水化計画	菱和エンジニアリング株式会社
村上 敏雄	調査企画	国際協力事業団ジュニア専門員 社会開発調査第二課

1-3 調査日程

- 10/11 (月) 団員移動
東京(12:45) - AF 275 - (17:15) パリ
- 12 (火) パリ(10:35) - AF 8168 - (18:15) アンマン
- 13 (水) JICA事務所打合せ、計画省(MOP)表敬、大使館表敬
水・灌漑省(MOWI)表敬
- 14 (木) 水・灌漑省にてS/W説明・協議

- 15 (金) 資料収集
- 16 (土) 水・灌漑省にてS/W協議
- 17 (日) 現地踏査(ジョルダン・バレー地域)
- 18 (月) 水・灌漑省にてS/W協議、M/M協議
- 19 (火) 水・灌漑省にてS/W協議、M/M協議
- 20 (水) 水・灌漑省にてS/W協議、M/M協議
- 21 (木) 水・灌漑省及び計画省にてS/W・M/M署名
大使館報告、JICA事務所報告
- (官ベース3名、コンサルベース1名) (コンサルベース3名)
- 22 (金) 田辺：アンマン(10:35) - RJ 117 - (16:45) ロンドン 資料収集
丸尾、村上、小原：
アンマン(11:30) - IY 725 - (15:30) サナア
- 23 (土) 田辺：ロンドン(17:15) - JL 404 - 資料収集
丸尾、村上、小原：大使館表敬・打合せ
イエメン国全国上下水道公社(NWSA)表敬
- 24 (日) 田辺：(13:00) 東京 資料収集
丸尾、村上、小原：NWSAとの協議、調査用資機材
保管状況確認及び取扱い分類、通関輸送業者調査
- 25 (月) NWSAとの協議、大使館報告 資料収集
- 26 (火) 村上、小原： アンマン(11:45) - RJ 112 -
サナア(02:00) - IY 721 - (08:20) フランクフルト - (17:55) ロンドン
丸尾：NWSAとの協議
- 27 (水) 村上、小原：フランクフルト(17:00) - LH 710 - ロンドン(18:45) - JL 402 -
サナア(23:15) - KL 536 -
- 28 (木) 村上、小原：(12:10) 東京 (15:30) 東京
丸尾：(08:45) パリ
- 29 (金) パリ(15:00) - AF 276 -
- 30 (土) (10:45) 東京

1 - 4 事前調査内容

(1) 事前国内作業

- a. 資料、情報収集と事前検討
- b. 調査対処方針、S/W案の検討

- c. 環境配慮にかかるスクリーニング準備
- d. 質問書の作成（環境配慮を含む）

(2) 現地調査

I 現地踏査

- a. 既存資料の収集・整理
- b. 既存データ（気象、水文、地下水位、地形図、航空写真、地質、ボーリングデータ、環境等）の賦存状況
- c. 水文観測施設状況確認
- d. 上水道取水施設及び導水路等現況調査
- e. 井戸施設及び導水管状況確認
- f. 河川状況の確認
- g. 実施中及び計画中のプロジェクトの現況調査
- h. 対象地域の自然環境、社会環境の現況
- i. 問題点把握・分析

II 協議

- a. ジョルダン国政府の意向確認
 - ア. 調査の内容と範囲
 - イ. 上位計画及び関連計画との関係
 - ウ. 事業実施の目途
- b. 他の援助機関の協力内容と本プロジェクトとの関係
- c. ジョルダン側調査実施体制、ジョルダン側負担事項の確認
- d. 現地踏査及びこれまでの協議結果を踏まえ、国内で検討した我が方対処方針、S/W案の説明・協議
- e. 環境配慮にかかるスクリーニング、スコーピング（予備環境調査）
- f. 本格調査の実施計画に必要な各種資料・情報の収集及び資料の有無の確認
- g. 地質調査、試掘調査、地形測量、環境調査等の現地業者の有無、能力、経費

(3) 帰国後国内作業

- a. 収集資料の整理、検討
- b. 本格調査実施計画の立案
- c. 事前調査報告書の作成

第 2 章 事前調査結果の概要

2-1 要請の背景・経緯

ジョルダン国の人口増加率は1991年から1992年で3.2%と高率であり、生活の向上とともに一人当たりの水消費量も確実に増加することから、将来の高い水需要を満たすための対策が早急に必要となっている。そのうえ、1992年の生活用水と工業用水（灌漑用水は除く）の需要量319MCM（百万 m^3 ）に対して供給量は208MCMと既に大幅に不足している。

また、ジョルダン国では、1992年の年間総水供給量900MCMのうち56%を地下水に頼っており、開発可能な淡水の大規模な地下水帯水層は現在の涵養のない化石水からなるディン砂岩帯水層のみであり、その開発には深い帯水層からの揚水と長大なパイプラインの建設の必要がある。一方、ジョルダン国各地に膨大な量の地下汽水の存在が確認されているものの、汽水淡水化による一般水道部門への適応の調査は未だ行われていない。

1992年9月に開催された中東和平多国間協議第2回水資源作業部会での議論を踏まえ、1993年1月にジョルダン国の水資源有効利用のための地下汽水淡水化調査についてプロジェクト形成調査を行った。

2-2 要請の内容

(1) 背景

ジョルダンにおける水需要量の増加は、開発可能な水資源量を超過しており、既存の給水施設による給水能力の限界を超えている。これに対応するためには、地下汽水淡水化プラントのように、多少開発コストはかかっても新しい水資源開発技術を導入し、増加する水需要と供給必要量に対応した利用可能水量の増大を検討しなければならない。「ジョ」国においては、地下汽水是豊富に賦存しているが、一般には深い帯水層に分布している。これら地下汽水帯水層の有効利用可能性は幾つかの水盆において評価されているものの、その他の水盆では評価を行う必要がある。コストのかかる深井戸開発による地下汽水利用調査は同国北部地域のアズラックで行われている。アズラック流域では、この地域の地下汽水淡水化プロジェクト導入の可能性調査として、地下水資源の量的、質的な調査を行っている。既存資料からは、汽水淡水化プラントの設置可能地点として7か所が挙げられる。

(2) 調査目的

本調査は、原水と生産水の水質条件面及び自然条件、環境による評価に基づきアズラック及びその他地域での地下汽水淡水化についてフィージビリティ調査（F/S）を行うもので

ある。加えて、これら条件下での最適淡水化方法を決定する。

(3) 調査内容

本調査は以下の二つのステージからなる。

第1段階（フィージビリティ調査）

第1段階は、アズラック及びその他の地域における地下汽水淡水化計画について、以下の点を考慮しながら技術的、資金的面からフィージビリティ調査を実施する。

a. 水資源に対する水理地質・水文解析

地下水の涸渇あるいは地下水の急速な塩水化などの将来起こりうる問題を回避するため、既存データ並びに調査結果を用いて表記の解析を行う。

b. 水質

現在までは、水資源開発を行う場合、生産水の使用目的は生活水、灌漑用水、工業用水等あらかじめ決まっていた。しかし、「ジョ」国において各使用目的ごとの水質基準を設けたために、生産水が使用目的に適合するかどうか、詳細に調査しなければならない。生産水を飲料水として利用する場合は、住民の水質に対する適応を考慮することも重要である。

c. 混合による水質改良

生産水の水質基準への適用に関しては、生産水を他の水源からの淡水との混合による目的水質への改良についても詳細に検討する。

d. 送水システム

生産水の他の地域への給水について考慮しなければならず、計画容量に対応したパイプラインやポンプ等の送水システムのコストを積算する。

第2段階（淡水化方法の検討）

第1段階の調査結果、フィージブルであった場合、次の段階では、地下汽水淡水化の最適方法を選定する。本段階においては、以下の点に留意する。

a. 小規模パイロットプラント

本調査地域に小規模パイロットプラントを設置し、その運転により蓄積されるデータに基づき適切な淡水化方法を選定する。

b. 既存データ

他国で実際に運転されている淡水化プラントについてのデータを収集し、詳細に検討する。

c. ブラインの処理

淡水化プラントから発生するブラインが、その地域の地下水や表流水に混入しないよう、ブラインの処理方法について詳細に検討する。

d. 副産物

ブライン処理の最も一般的な方法は蒸発池の設置であり、処理と同時に大量の塩が発生する。この副産物を製品とする精製プロジェクトを起こし、プロジェクトの中に組み込むことも検討する。

e. 運転

「ジョ」国においては、今回の淡水化プラントが初めてのものである。そのため、この分野における熟練技術者がいない。したがって、当国技術者が簡単な構造と運転技術で動く小規模プラントを通して、技術を習得することが必要である。

f. トレーニング

淡水化プラントの運転・維持管理の技術者がいないために、本分野でのトレーニングプログラムを編成することが重要である。

g. 動力回収

淡水化技術の進歩とコストダウン効果にもかかわらず、脱塩処理水は依然高価である。動力回収の導入は考慮すべきコストダウンの一つの方法であり、検討が必要である。

2-3 プロジェクト形成調査の結果

(1) 「ジョ」国側要請書ではアズラック、スクネー、ヒスパン〜カフレイン、ザルカマイン、カラマー、デイル・アラ、アブゼイガンの7調査対象地域が挙げられていたが、1993年1月のプロジェクト形成調査において、以下の評価が行われた。

(2) 現地調査の概要

1) アズラック (2候補地点)

浅層帯水層からは、既に大量の淡水の取水が行われており、そこからの汽水の取水は現状の真水の取水に悪影響を及ぼす懸念がある。また、中部帯水層からの大量の取水は浅層帯水層の水質に影響を及ぼす恐れも指摘される。いずれにせよ、浅層帯水層と中部帯水層からのどの水利地質的な関係が明らかでなく、現在実施されているEC基金による詳細な調査結果を待たねばならない。また、当地域の2候補地点においては、ブラインの処理に問題が残る。また、現状のパイプラインのキャパシティもいっぱいである。アズラックの2候補地点については現在ECの基金により、詳細調査が進行中であり、この調査の進捗状況は11本の試験井戸掘削計画に対し、5本の掘削が完了している。井戸の試験につい

ては1か所が完了したのみであり、全体的に遅れぎみである。

2) スクネ

試験井戸の結果、帯水層の状況がそれほど良好でないことと、ブライン処理の点で決定的問題がある。

3) ヒスパン及びカフレイン、カラマー、アブゼイガン地域(2候補地点)

当地では3本の試験井戸が掘られており、いずれも大量な流出量を誇る自噴井である。予備試験の結果から、年間10百万m³程度の取水量は十分確保されるとのことであり、更に詳細な調査を行えば、取水量の更なる増加が期待される。また、ブライン処理の点では死海が近いことにより問題がない。さらに、候補地点に挙げられているカラマー、アブゼイガン地区は、詳細調査は行われていないものの、ヒスパンと同じ帯水層の延長上にあるため、詳細な調査を行う価値がある地区と考えられている。また、ブライン処理の点でも既に塩分濃度の高くなっているジョルダン川本流に流すことが考えられる。両地区よりは、この近郊には現在、キングアブドナカナルより1,500mの高度差を5か所の送水施設を経由してアンマンに送水されている。灌漑への利用量が多いため、現在の稼働率は20%程度である。同施設よりの水は濁度が高く、その途中で上下処理が行われている。

4) ザルカマイン及びマイン

当地の揚水地点の候補地では、揚水地点が各地に散在しており、揚水地点ごとに多くの取水施設の建設の必要があり、また、集水施設が必要となる。これらの揚水地点は全てワジザルカマインの河床上に位置しているために、時に発生する洪水のために、洪水防御の施設も必要となる。ブライン処理の点については死海近郊のため問題はないものの、既存の送水施設から離れている問題がある。

5) カラマー、デイル・アラ

当地の中積層からの取水については水量的に疑問がある。

(3) 本件調査を進めるに当たっての留意点

本件調査を今後どのように進めるかは、2月のジュネーブ会合の結果次第ではあるが、同会合の結果、開発調査を進めることが適当との結論に達した場合の留意点として、現時点で以下の4点が考えられる。

- 1) 調査候補地の絞り込み
- 2) 予備調査団派遣の必要性
- 3) 中東和平多国間協議との整合性の確保
- 4) 域内における APPLICABILITY

これらについて検討・協議を行った結果、地下汽水源調査対象地域としてジョルダン・バ

レー地域に特定することとした。

2-4 日本側調査対処方針

(1) 本格調査の内容

第1段階 基礎調査

基礎調査は、地下汽水開発計画策定にかかる基礎資料・データを収集するとともに試掘調査位置を決定する。

第2段階 地下汽水賦存量調査

試掘調査を行い地下汽水賦存量・水質の評価を行う。併せて水需要予測（用途別の水量・水質）を行う。

第3段階 地下汽水開発計画

淡水化技術の検討を行った後、取水、淡水化、水利用からなる地下汽水開発計画を策定する。

(2) 基本方針

淡水化についてはアンマンを含む北部ジョルダンへの水供給計画の中で位置付ける。したがって、地下汽水開発の水量、水質、経済性、環境配慮の面からの代替案の検討及び他の水資源開発手段との比較優位性検討が必要である。これに必要な調査を実施することとする。

(3) 調査対象地域

地下汽水賦存量調査対象地域としては、ヒスバン、カフレイン、カラメー及びアブゼイガンを含むジョルダン・バレー地域とする。先方よりヒスバンに特定するよう要望があった場合は、幾つかの代替案を示しヒスバン以北のジョルダン・バレー地域においても検討の必要があることを説明し、先方との協議により決定する。また、先方よりジョルダン・バレー地域以外についても賦存量調査対象地域とするよう要望があった場合は、該当地域選択の根拠となる既存資料の提出を要望するとともに、Ph 2 の調査精度を落とすか調査期間が延びることを説明する。

水需要予測については、アンマン市を含むジョルダン国北部地域とする。地下汽水開発計画の対象地域もアンマン市を含むジョルダン国北部地域とし、その詳細（給水区域）は Ph 1 及び Ph 2 の調査結果を踏まえ、先方との協議により決定する。

(4) 目標年次

目標年次は2010年を想定し、今回のS/W協議を通じ協議を行うとともに、本格調査の中

で北部ジョルダンへの水供給計画との位置付けにより段階的な地下汽水開発計画の目標年次を設定することとし、先方との協議により決定する。

(5) 淡水化規模及び生産水利用方法

ジョルダン国の93～98年5か年計画では、淡水化施設位置としてヒスバンを指定し、その規模は4,000,000m³/yearとなっているが、その生産水利用方法については未定である。

今回、この5か年計画に沿い特に淡水化規模について先方から日産1万トン規模以上での要望があることが予想される。これは、5万人程度への給水量に当たり、北部ジョルダンへの水供給計画の中で位置付ける必要がある。また、現状に合った適正規模及び建設コストについても、本格調査の中で検討する必要がある。

したがって、これら淡水化規模及び生産水利用方法については、今回のS/W協議を通じ協議を行うとともに、本格調査の中で代替案検討・評価を行い、優先プロジェクトを提示することとする。評価に当たっては、各種条件（自然、技術、経済性、環境配慮、他の水源開発手段との比較等）に沿って行う。

(6) 追加調査について

本調査に引き続きF/S等、より詳細な追加調査の実施について要望された場合、その旨、M/Mに記載することとする。

「ジョ」側が日産1万トン規模のプラントをパイロットプラントとして位置付け、本調査での優先プロジェクトにかかる計画策定と併行してその施設設計の実施を要望してきた時は、本パイロットプラントの建設には5万人程度への水供給が考えられる以上、適正規模及び建設位置の検討に加え水利用・導水施設を含め北部ジョルダンの水供給計画と整合した計画にする必要があるため、あくまでPh3の調査の中において比較・検討することとする。

なお、早期の追加調査の実施については、井戸台帳や水質・水文地質等にかかる既存資料・データの賦存状況次第では、Ph1及びPh2の調査期間を、それぞれ1か月と3か月程度まで短縮できることから、早期に詳細調査に着手できる旨を説明する。

(7) 調査用資機材については、その必要性、ジョルダン側の所有状況等を調査・検討のうえ決定する。なお、ジョルダン側より当該機材について供与方要望があった時はM/Mに記載し持ち帰り検討することとする。また、イエメン国地下水開発計画調査（中止）調査用機材（井戸用ケーシング・スクリーンパイプ、電気検層器、水中ポンプ、自記水位計、車両等）の本件調査への転用について検討する。

- (8) S/W 及び M/M のジョルダン側署名者について、計画省と水・灌漑省のどちらとなるか確認を行う。
- (9) 本件調査に対するジョルダン側体制、Steering Committee、Technical Committee の設置等について確認を行う。
- (10) 協議内容及び結果については大使館・JICA 事務所に逐次報告し、大きな問題点が出れば請訓する。最終結果についても概要報告のうえ本省への公電（公信）発出を依頼する。

2-5 協議の経緯及び結果

(1) 経過

1) 10月13日、水・灌漑省大臣表敬時に、今次調査団が本事前調査の目的につき説明したところ、「ジョ」側より汽水淡水化パイロット・プラント建設にかかる調査は本年1月の日本側調査団（プロジェクト形成調査団）及び「ジョ」側にて既に了しており、また、建設サイトも地下汽水が自噴しているヒスバン及びアブゼイガン地域に絞られており、更に調査する必要はない。しかも調査期間が24か月であり、プラント建設工事はかなり先送りになってしまう。一刻も早く何らかの形の汽水淡水化プラントを建設してほしいとの主張があった。

2) 翌10月14日より水・灌漑省において、S/W 案に基づき実質的な協議を開始した。

a. 我が方より将来の目的が「ジョ」側の言う年間5 MCM（百万 m^3 ）程度（日産1万 m^3 強）の汽水淡水化プラントの建設であれば、現在の「ジョ」国の標準給水量から判断すれば10万人以上の人口に飲料水を供給できるため、本件調査は、目標年次を2010年とし、供給サイドとしてジョルダン・バレー地域、需要サイドとしてジョルダン北部を調査対象地域とし、中・長期的なジョルダン北部の水供給計画の中で汽水淡水化プラントを位置付ける調査となる旨、説明した。

これに対し「ジョ」側より、汽水淡水化は極めて緊急性を要する案件であり、一刻も早い対応が必要である旨、また、人口が急増しているジョルダン・バレー地域への水供給も検討すべき旨のコメントあり。

b. 我が方より地下汽水を淡水化した後、その生産水の水利用について飲料水とするか灌漑水として利用するのか質問。「ジョ」側より、とりあえず飲料水を考えている旨、回答があった。

c. 我が方より、プラントのサイトを決定するに際しては、淡水化した水をどこへ送水するかが全体の建設費用の面から大きなポイントであり、例えばアンマンへの送水を前提

とした場合にヒスパン地域にプラントを建設すれば、現在アンマンへの送水施設があるデイル・アラまでポンプで一旦送水する必要があり、デイル・アラにプラントを建設した場合に比べて送水の面では約7億円程度コスト高になることを例示しつつ、サイトの選定においては本件調査の中で比較検討する必要性を説明した。

これに対し「ジョ」側は、基本的に理解した。

- d. 我が方より、地下汽水淡水化プラントの名称及び規模につき、日本では「パイロット」という場合には日産800m³程度のプラントであり、その目的は海水淡水化の実験及び技術者の訓練である。本件淡水化プラントは“パイロット”プラントを目指しているのか、または日産1万m³程度の本格的な生産プラント（Operative plant）の建設を目指しているのか質問。

これに対し「ジョ」側は、生産プラントとしての機能の強い施設の建設を目指している旨、回答（ただし、中には小規模な汽水淡水化プラントを早急に建設すべきとの意見もある由）。

我が方より、さらに、調査対象地域における水需要量が明確でなく適正規模、経済性等が不明である以上、現段階でプラントの規模を年間5MCMに決定することは時期尚早であり、本件調査の中で決定する方が良いのではないかと説明。これに対し「ジョ」側より、特段の回答なし。

- e. 我が方より、全体で24か月からなるS/W案の調査期間につき説明。

これに対し「ジョ」側は、3か月でプラントの施設設計調査は可能と考えているのに、マスタープラン・レベルの調査が24か月というのはあまりにも長過ぎる、と調査期間の短縮を強く要請。また、地下汽水淡水化プラントにかかるフィージビリティ調査はどうなるのか質問あり。

我が方より、何回か新たな調査期間に関する案を提示し、協議を重ねた結果、全体の調査期間を18か月に短縮することで合意し、プラント建設にかかる追加調査については、本件調査のドラフト・ファイナル・レポート提出時に、双方プラント建設のサイト、形式及び規模等を協議し最も適切な計画につきF/Sを開始する案を提示したところ、「ジョ」側も同意した。

- f. 我が方より、本件調査が18か月必要である主な理由につき、以下のとおり説明。

- ① 調査対象地域に分布する地下汽水帯水層の年間を通じた水質調査がヒスパン～カフレイン地域では一応調査されているが、淡水化プラントのモジュールの目詰まりに影響を与える鉄分及びマンガンの含有量調査が実施されていない。また、デイル・アラ～アブゼイガン地域においては試験井が存在せず、既存資料だけでは地下汽水の賦存量・質の評価ができないため。

- ② ヒスバン～カフレインからデイル・アラ～アブゼイガン地域における帯水層の詳細なデータがないため。
 - ③ 調査対象地域に分布する地下汽水帯水層における涵養のデータ及びメカニズムが明らかにされていないため。
 - ④ 地下汽水の塩水化のメカニズムが不明のため、地下汽水を揚水した場合の中・長期的な水質変化の予測がなされていないため。
 - ⑤ 地下汽水淡水化プラントからの生産水の利用法及び給水先等の基本構想がないため。
- 3) その後、S/W 案の逐条検討を行い、一部修正を行った後、合意に達し、10月21日、計画省 SAFWAN TOUKAN 次官及び水・灌漑省 MUTAZZ BELBEISI 次官と丸尾団長との間で S/W の署名を行った。

なお、S/W 原案と署名された S/W との主な変更点は、下記(2)の関連する協議議事録(10月21日、ジョルダン・バレー開発庁 ZAFER ALEM 次官補及び計画省第二部 BOULOS KEFAYA 部長と丸尾団長の間で署名)を参照されたい。

(2) 協議議事録の内容

- 1) S/W 中の I. INTRODUCTION に本件が中東和平多国間協議水資源部会の活動に基づいていることを記入する。
- 2) S/W 中の II. OBJECTIVES OF STUDY に「淡水化(実用/実験)プラントの候補地の選定とプライオリティーの設定」を入れる。
- 3) MOWI が本件日本側調査団に対しカウンターパートとなる。
- 4) MOWI は車両、運転手、燃料、車両メンテナンス等提供できない。
- 5) S/W 中 SCOPE OF STUDY の細目 Phase III 3 - 2 d, f, h の修正
- 6) 10月19日に修正・提示された S/W の TENTATIVE STUDY SCHEDULE については、1994年1月開始されることで MOWI は合意する。
- 7) DF/R の後、淡水化プラントの建設につながる追加調査が行われる。
- 8) JICA が S/W 説明時に示した 24か月の調査期間について、MOWI はヒスバン～カフレインとデイル・アラ — アブゼイガン地域の両地域において地下汽水の評価に関する既存資料・データが既にあるため調査期間を短縮できることを説明した。JICA 調査団は調査期間を再考し、S/W に示した調査期間を 18か月に修正した。
- 9) DF/R 協議時に、地下汽水淡水化プラントのタイプとサイズの選定を含めドラフトの内容について協議する。
- 10) MOWI はカウンターパートの日本での技術研修を要望した。
- 11) 以下の要点はジョルダン側の理解しているところである。

1992年9月15、16日にワシントンD.C.にて行われた第3回中東和平多国間協議の場で、日本代表団はジョルダンにおける地下汽水淡水化パイロットプラントの建設可能性について調査することをコミットした。

ワシントンD.C.でのコミットを踏まえ、日本政府は1993年1月13日と2月7日に調査団をジョルダン国に派遣した。これら協議の主要点は以下のとおり。

- a. プラントの規模は5百万m³/年以上実用的なもので、建設サイトはヒスバンまたはカラメー地域。
- b. プロジェクトはジョルダン側の正式要請後、速やかに開始する。
- c. 調査期間は1年を超えず、調査終了時にプラントの建設に開始する。

1993年4月27～29日にジュネーブにて行われた第4回中東和平多国間協議において、日本代表団長は「地下汽水淡水化日本調査団レポート」と題するレポートを提示し、プラントの具体的便益を見たいために、プロセスを速めるよう努力すると発言した。これに従い、調査団をジョルダンに1993年8月に派遣するとのことであったが、当事前調査団は2か月遅れの10月13日に到着した。

当JICA調査団は、これらジョルダン側理解についてメモするも、コメントする立場にはない。

12) 双方は以下の機材が調査に必要であることに合意し、これら調査用機材についてジョルダン側は日本側による提供を要望した。

車両

電気検層器

揚水ポンプ及び発電機

流量計

水圧計

地下水位計

パーソナルコンピューター

コピーマシン

その他機材

第3章 ジョルダン国の概要

3-1 自然概況

ジョルダン国は、中東の北西部、東アフリカから続く大地溝帯東側に位置し、国土面積は98,000km²、主に半乾燥地と砂漠である。

緯度は、北緯29～33度の間に位置し、日本の九州付近に相当する。しかし、気候は地理的状況に大きく左右されている。その一つは、アカバ湾から死海にかけてが低地帯であるため、地中海の影響を受けて、やや海洋性気候になっていることである。夏は酷暑となるが、冬は温暖なため、アカバ、死海は保養地となっている。もう一つは、北から南へ延びる中央高原地帯の影響である。すなわち、地中海から入り込んだ湿気は、この高原にさえぎられて、やや内陸性気候となる。そのため、空気は乾燥し、夏は暑く、冬は時には雪が降るほど寒い。

この国の大都市であるアンマン、ザルカ、イルビドなどは、この中央高原地帯に位置し、冬の平均温度は10℃、夏は25℃ぐらいである。また、アカバ、死海の一带は、冬は17℃ぐらいだが、夏には30℃を超える。

雨量は全体に少なく、最も多い北部高原地帯でも年間500～600mm程度である。また、アンマン地域で300mm、アンマン南部の高原地帯で400mm、東部の砂漠地帯で年間50mm以下である。

乾期（5～10月）と雨期（11～4月）にはっきり分かれ、乾期にはほとんど雨も降らない。雨期には集中的な降雨があるが、前述のように、降雨量は大したものではない。したがって、主な水資源を地下水に依存するこの国では、水不足の悩みは尽きない。

首都アンマンは標高900m、中央高原地帯の一角を占める起伏に富む七つの丘の上に位置している。夏は暑いですが、空気が乾燥しているため、しのぎにくいというほどでもない。また、1日のうちの気温変化が激しく、朝夕涼しく、日中でも屋内や日陰に入ると涼しい。

冬は、雨期に当たるため相当量の降雨があり、寒冷である。また、冬の間は2、3回の降雪があることもある。

表3-1 アンマン周辺における年間平均気温表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均気温(℃)	8	9	12	16	21	24	25	26	24	21	15	10

3-2 社会状況

(1) 歴史・社会

この地域は、紀元前よりペトラ王国、ガッサーン王国などが一時の繁栄を示したが、2世

紀にはローマ帝国に属し、さらに、その後、長期間にわたりオスマン・トルコの支配下にあった。

第1次世界大戦中、イギリスの委任統治下の独立国として承認された。

第2次世界大戦後の1946年、正式に独立国家となり、さらに、49年の第1次中東戦争でジョルダン川西岸地域を併合し、正式国名もジョルダン・ハシャミット王国と改めた。67年の第3次中東戦争でジョルダン川西岸地域とエルサレムの旧市街をイスラエルに占領され、その結果、占領地からパレスチナ難民が流出した。パレスチナ・ゲリラは、ジョルダンを基地に対イスラエル攻撃を強化したため、政府は、70年2月、ゲリラ活動弾圧に向かい、71年7月、パレスチナ・ゲリラをジョルダン領内から追放したが、73年の第4次中東戦争前になって、ゲリラ弾圧を緩和した。翌74年のアラブ首脳会議（ラバト）は、PLOをパレスチナ人の唯一合法の代表として承認し、ジョルダンは、これを受け入れて東岸のパレスチナ人のジョルダン定着化を進めた。

1980年9月のイラン・イラク戦争勃発後、ジョルダンはイラク支持を表明したが、逆にイラン支持派のシリアとの対立が深まり、82年11月、国境で緊張が高まったが、サウディ・アラビアの調停で軍事衝突は回避された。

PLOアラファト派はジョルダンとの関係を重視し、84年11月には、初めてアンマンで第17回パレスチナ民族評議会（PNC）を開催した。85年2月には、「ジョルダン・パレスチナ連合国家の枠内でパレスチナ人は自決権を行使する。ジョルダン・パレスチナ合同代表により中東和平会議に参加する」などを盛り込んだジョルダン・PLO合意（アンマン合意）が成立した。これは、国連安保理決議をアラブ側が初めて暗黙裏に承認したものと理解され、国際社会の注目を引いた。

1986年2月、フセイン国王は「85年2月のアンマン合意の原則は今も有効であるが、PLO指導部が信頼性と一貫性を回復するまで、PLOとの政治調整は行い得なくなった」として、PLOとの共同行動停止を宣言した。一方、PLO側は、87年4月、アルジェリアでのPNCにおいて、アンマン合意を正式に破棄する旨、決議した。

1987年12月に始まった西岸・ガザ住民のイスラエル占領当局に対する蜂起は、パレスチナ人との関係が微妙なジョルダンに対し、内外からの圧力となって影響を及ぼし、88年7月末にはフセイン国王が西岸との法的・行政的関係を断絶するとの発表を行い、歴史的変換をもたらした。

1989年には、経済悪化から国内各地で暴動が発生した。フセイン国王は、この反省として、国政運営、経済・財政関連閣僚の交替を行い、政策への民意反映を目的に22年ぶりの総選挙を実施した。

1991年、湾岸戦争が勃発した。ジョルダンは湾岸危機ではイラクのクウェート侵攻を認め

ないとの立場を表明したが、アメリカを中心とする多国籍軍の介入には反対し、アラブ内での解決を求めた。また、フセイン国王がフセイン＝イラク大統領のパレスチナ問題と湾岸問題のリンケージを支持したことから、ジョルダンが「親イラク国」とみなされ、政治的にも苦境に立つことになった。ジョルダンのこのような政治的立場は、イラクとの政治的・経済的関係の強さという背景とともに、折からジョルダンの進めていた「民主化」の中で活性化していた政治諸勢力の圧力という背景もあった。

湾岸戦争停戦後直後の1991年3月1日、フセイン国王は、ジョルダンが如何に湾岸危機の平和的解決の努力を行ったかを説くとともに、ジョルダンの経済がブロックされ、輸出の減少、湾岸諸国からの労働者の帰国による経済的負担増など経済的苦境を挙げ、ジョルダンがクウェートとともに犠牲者であると強調した。これは、戦争中に貼られた「親イラク国」とのレッテルを早く剥がしたいとの意図の現われであった。

また、経済面では、西岸切り離し措置発表と前後してジョルダン・ディナールが急落し、経済の悪化が表面化した。

3-3 経済状況

1982年以降の湾岸産油国の景気後退に伴い、同産油国経済に依存していたジョルダンの経済成長率は急激に落ち込み、失業者数も著しく増大するなど、経済情勢は悪化の一途をたどってきた。88年、GNP実質成長率はマイナス6.3%であり、建設業、工業など民間部門がこのマイナス成長の主な要因となっている。

為替レートについては、1988年7月の西岸切り離しを端緒として、ジョルダン経済に対する先行きは不透明感が増大し、ジョルダン・ディナール通貨の大幅な下落がみられた。88年前半は1ドル＝約340フィルスであったが、一時は1ドル＝900フィルスまで下落した。その後、89年7月末の二重為替レート制の導入を機に、サウディ・アラビアをはじめとするアラブ湾岸諸国からの援助の効果も相まって、為替レートは安定化し、90年1月現在、1ドル＝670フィルス前後で一応落ち着きをみている。88年前半の為替レートに比べると、短期間に実に約50%の大幅な下落をしたことになる。

為替レートの激変と併行して、ジョルダン政府の外貨不足が明らかになり、ジョルダン政府は対外債務返済不能に陥った。ジョルダン政府は、まず1989年、予算を従来の積極財政予算方針を転換して緊縮型とし、また、外貨節約措置を講じたが、ジョルダン政府の努力だけでは解決できない事態であることが明らかとなったため、ジョルダン政府は、IMFに18か月間のスタンバイクレジットなどの援助を要請するとともに、パリ・クラブ、ロンドン・クラブに債務返済繰延べを要請するに至った。

1989年4月にはIMFとの間で89～93年までの中期経済調整プログラムに合意するに至り、

この合意を受けて、89年予算の歳出の一部凍結、ガソリン、タバコなどの値上げ措置をとった。

債務返済繰延べについては、1989年7月にパリ・クラブと、また、同年9月にはロンドン・クラブとの間で合意をみた。

物価については、ジョルダン・ディナール切り下げの影響もあり、輸入品をはじめとして大幅な物価上昇がみられている。

ジョルダン国の概要

1. 首都 : アンマン (163万人 1992年)
2. 独立 : 1946年5月25日
3. 面積 : 98,000 km²
4. 人口 : 401万人 (1992年、西岸地域を除く)
人口密度 : 1 km²当たり41人
人口増加率 : 3.2% (1991~92年)
5. 人種構成 : パレスチナ人 (約6割強ともいわれる) とベドウィン系ジョルダン人が大部分を占める。
6. 言語 : アラビア語 (英語)
7. 宗教 : イスラム教が国教 (大部分がスンニー派であるが、少数ながらドルーズ派もいる) で約93%を占める。キリスト教徒は約7%であり、ほとんどが都市居住者である。
8. 政治
 - (1) 政体 : 立憲君主制
 - (2) 元首 : フセイン・ビン・タラール国王
(Hussein Bin Talal、1953年即位)
 - (3) 議会 : 上院は、国務相、全権大使などの経験者から国王が選任する議員より構成される。(議席数40、任期4年)
下院は、自由選挙の公選議員により構成される。(議席数80、任期4年)
9. 経済
 - (1) GNP : 44億5,000万ドル (1992年)
一人当たり1,100ドル (1992年)
 - (2) 主要産業 : リン鉱石、セメント、石油製品のほかに、カリ、肥料などがある。
 - (3) 貿易 : 輸出 (FOB) 12億200万ドル (1992年)
輸入 (FOB) 32億900万ドル (1992年)

- (4) 財政 : 歳入 13億 4,800万 ジョルダン・ディナール (1992年)
 歳出 12億 400万 ジョルダン・ディナール (1992年)
- (5) 通貨 : 通貨単位 ジョルダン・ディナール (Jordan Dinar : JD)
 1 ジョルダン・ディナール = 1,000 フィルス (Fils)
 為替相場 1ドル = 0.69 ジョルダン・ディナール
 (1993年10月)

3-4 ODAの現状・実績

(1) 一般動向

ジョルダンへの政府開発援助は、1980年代までアラブ産油国、とりわけサウディ・アラビア、クウェートなどのアラブ・OPEC諸国からの財政援助が大半を占めてきた。しかしイラン・イラク戦争、湾岸戦争など政治的、経済的要因で援助額が激減した。これらOPEC諸国からの援助は、二国間政府の直接援助の形態が中心で、政治的要因により援助額に大きく影響するのが特徴である。

OPEC諸国以外ではアメリカ合衆国、ドイツ（西ドイツ）、日本が3大援助国となっており、このほかにカナダ、イギリス、フランス、イタリアなども技術援助を中心に活動を行っている。国際機関は、世銀グループ、国連グループが主要援助機関である。

表3-2に87年から91年までのDAC諸国・国際機関による援助額の推移を示す。

表3-2 DAC諸国・国際機関の年度別ODA実績

(単位：百万ドル)

項目	1987	1988	1989	1990	1991
DAC加盟国	171.5	122.9	130.7	434.6	683.8
日本	24.4	14.5	12.2	145.0	430.7
ドイツ(注1)	27.2	21.5	29.0	174.0	119.8
米国	106.0	69.0	63.0	58.0	33.0
カナダ	3.4	10.7	10.1	18.0	25.6
その他	10.5	7.2	16.4	39.6	29.7
国際機関	24.5	10.8	17.3	27.2	233.4
アラブ諸国	383.3	283.0	128.7	425.9	4.4
ODA受取純額	579.3	416.7	276.6	887.7	921.6

(注1) 1990年までは西ドイツ

出所 Geographical Distribution of Financial Flows to Developing Countries

1992, 1993 OECD

(2) 主要援助機関の援助動向

アラブ・OPEC諸国は、「ジョ」国に対して、産油国からの政府間資金援助と、石油などの直接援助を行ってきたが、湾岸戦争以降、最大の援助国であったサウディ・アラビア、クウェートからの援助は止まっており、アラブ・OPEC諸国のジョルダンに対する援助は91年には激減した。

アラブ・OPEC関係国際機関のうち、主なものは、サウディ・アラビア経済社会開発基金(AFESD)、クウェートのアラブ経済開発クウェート基金(KFAED)、イスラム開発銀行(IsDB)であり、インフラ関連のプロジェクト融資を中心に援助を行っている。

アメリカ合衆国は、アラブ・OPEC諸国以外では歴史的に最大の援助国である。アメリカ合衆国の援助は、直接援助が中心でインフラ整備、総合開発、人的資源育成などを中心に行っている。表3-2に示すようにODA額は91年には大幅に減少しているが、そのうち技術援助は二国間援助では最大の18百万ドルとなっている。

ドイツの援助は、表3-2に示すとおり89年までは20百万ドル代で推移していたが、90年には174百万ドルとなりODA額で1位となった。援助の特色としては89年までは特に技術援助の比重が高いことであったが、90年より無償資金協力が急増し、91年ではODA総額119.8百万ドルのうち90.7百万ドルが無償資金協力となっており、DAC諸国の中では群を抜いて多い。

カナダの援助は、そのほとんどが無償資金協力からなり、無償資金協力の額は91年には倍増しDAC諸国の中で3位となっている。

世界銀行では、従来はインフラ整備と都市の基盤整備が中心の援助であったが、近年は、人的資源の開発に力を入れ、技能・知識集約型の人的基盤の供給をねらいとする10か年改革プログラムに基づき、その第1段階として学校建設を始めている。

国連開発計画(UNDP)は、独自の援助5か年計画(カントリープログラム)の策定を通じて、援助各国との協調のもとに適合性のある技術援助、資金援助の実施を図っている。

その他援助機関の連帯としては、IMFや世界銀行等が不定期ながら援助会議を開催しているほか、92年1月のモスクワ会合より開始され現在進展中の中東和平多国間協議においても、環境、経済開発、水資源、軍備管理、難民の五つの作業部会(WG)により、主要先進国間で同国への援助が協議されている。中東和平多国間協議の中で我が国は、環境WGの議長役、経済開発、水資源WGの副議長役を務めている。

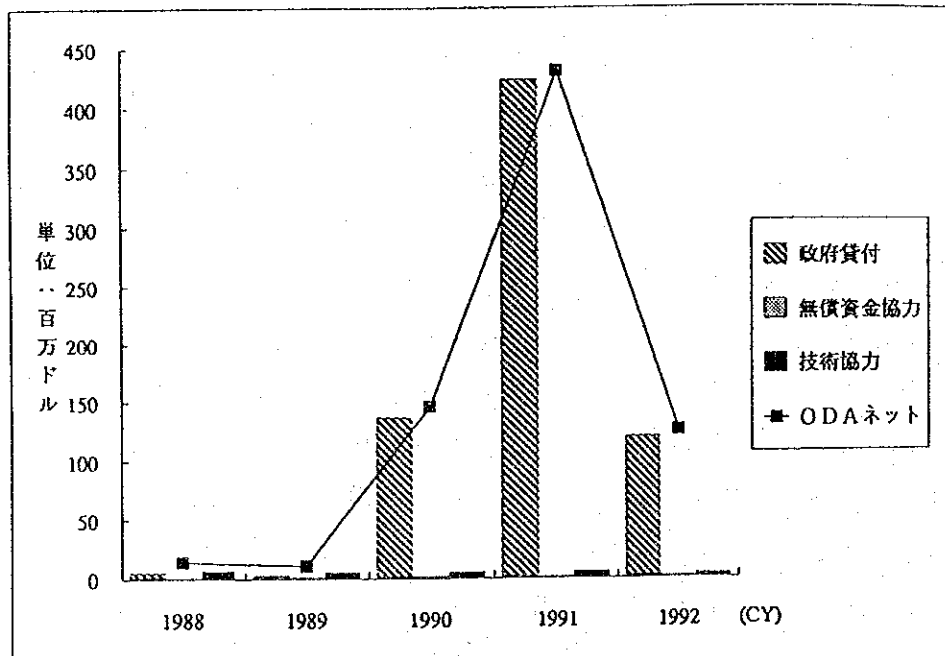
(3) 我が国の経済協力の関係

我が国は「ジョ」国の所得水準を考慮して、従来より、有償資金協力及び技術協力を中心に行ってきた。特に前者については1974年度の「電話網拡充政策」を皮切りに1991年4月の

「緊急商品借款」まで13次にわたり総額1,624.4億円の円借款が、電話網拡充、ダム・灌漑施設・道路建設、教育改革支援、経済構造調整支援、B/Pサポート等の各分野に供与されている。なお、1990年8月のイラクのクウェート侵攻に伴う湾岸危機との関係で、91年は前年同様、我が国が有償資金協力を大幅に拡大したため、我が国のジョルダン国への援助総額は430.7百万ドルと2年前の35倍にも上り、他の援助国を大幅に引き離しての1位となった。図3-1に、88年から92年までの我が国の対ジョルダンODAの推移を援助形態別に示す。

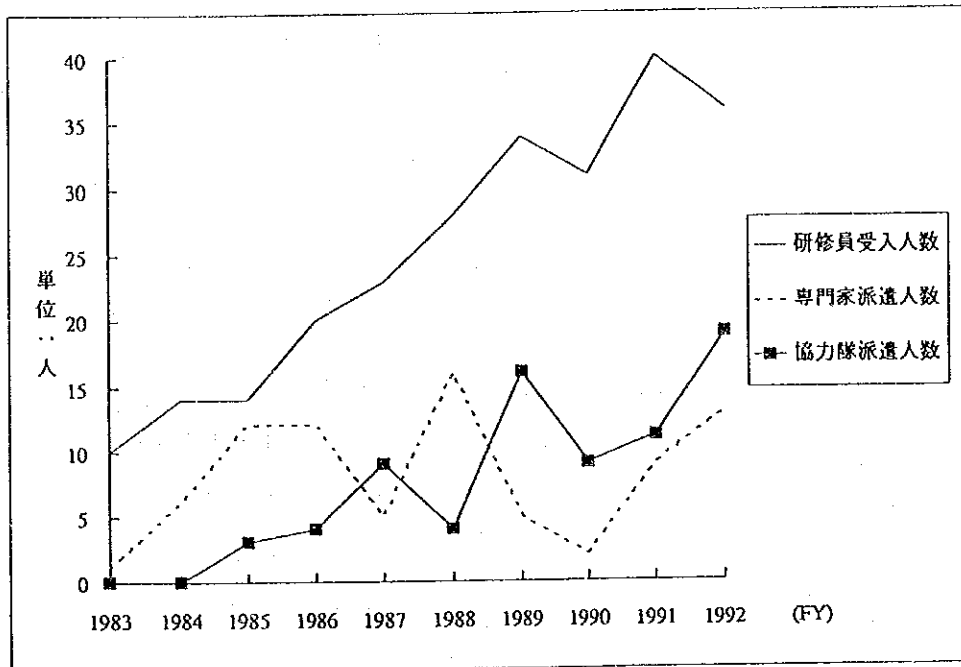
技術協力については、日本への研修員の受入れは既に370名を超え、一方で日本からはJICA専門家、青年海外協力隊員がジョルダン国内の多くの機関に派遣されている。図3-2に83年から92年までの研修員受入れ、専門家、協力隊派遣の推移を示す。また、「ムジブ水系水利用計画調査」、「エル・ジャファル水系地下水開発計画」等の開発調査や「王立科学院電子工学サービスセンター（1977～1982）」、「電力庁電力訓練センター（1986～1991）」及び「コンピューター訓練研究センター（1990～実施中）」のようなプロジェクト方式技術協力が行われている。

近年は「ジョ」国の所得水準が低下し、我が国からの無償資金協力対象国となっており、最近、文化無償以外の無償資金協力も開始されている。



出所 「我が国の政府開発援助」 1993 国際協力推進協会

図3-1 我が国の対ジョルダンODA実績



出所 「国際協力事業団実績表」 1993 国際協力事業団

図 3-2 年度別受入れ及び派遣人数 (ジョルダン)

第4章 調査対象地域の概要

4-1 自然条件

4-1-1 位置

調査対象地域は、北緯31度45分～32度40分、東経35度35分～40度に広がり、ジョルダン国の北西部に位置するジョルダン渓谷、ジョルダン川東岸地域一帯である。この地域は東アフリカから続く大地溝帯の延長上にあり、北はシリアとイスラエルに属するティベリアス湖、南はジョルダン川の流れ込む死海へと延びている。谷の東側はアズラン山脈が南北に連なり、ジョルダン渓谷へと急激に下っている。調査対象地域は、南北方向に100km、東西方向10kmの範囲にあり、ジョルダン川からアズラン山脈西側斜面までの地域である。

送水計画を検討する際には、アンマン市とジョルダン国北部地域も調査対象範囲に含める。

4-1-2 地形

ジョルダンの地形は大別して東部の平坦な砂漠地帯、西部の丘陵、山岳地帯、アカバ-死海-ジョルダン-地溝帯からなり、その地形、地質特徴から、8地域に区分される。

—南部の基盤岩類と古生層（砂岩）地域

—中部のジョルダンの石灰岩地域

—エル、ジャフル沈降帯

—アズラック-ワディサーハン沈降帯

—玄武岩台地

—ジョルダン北東部の石炭岩地域

—地溝帯東部の北部高地

—ワディアラバー-死海-ジョルダンバレー地溝帯

ワディアラバー-死海-ジョルダンバレー地溝帯はアカバ湾からティベリアス湖まで約360km、幅約15kmで北北東に伸びており、新第三紀と新第四紀の地層に覆われている。

アカバ湾から約80kmで標高250mの分水嶺に至り、なだらかに高度を下げて死海に至る。

死海は、長さ約80km、幅約15km、面積997km²で、標高は海面下-392m（1938年）で最深部は401m、地溝帯全体の最深部は海面下-793mである。地溝帯の方向はN15°E、死海の北部でN5°Eに変わる。ジョルダン渓谷の長さは105km、幅は最大24km、最小7km、標高は死海の海面下-392mからティベリアス湖の-212mの範囲である。

調査対象地域は、ジョルダン渓谷の中央を流れるジョルダン川の東側一帯の地域である。

4-1-3 地質

(1) 地質概要

ジョルダンの堆積岩類の堆積は、先カンブリア紀の基盤類上のサラムヂュ礫岩の堆積と同時に後期先カンブリア紀に始まる。カンブリア紀—オールドビス紀を通じてラム（ディシ）砂岩層群はジョルダンとサウディ・アラビアの北西部に堆積した。

短期の海進はクレイム層群の細粒砂岩、シルト岩、泥岩、が東部ジョルダンで堆積した前期オールドビス紀からシルル紀の間に主な海進が起きた。後期古生代から二疊紀は中部ジョルダンで局所的な堆積を伴う侵食の時期である。

短期の海進は、海退の間隔が特徴であり、三疊紀とジュラ紀の侵食作用は北部ジョルダンのザルカ層群の砂岩、頁岩、苦灰岩質石灰岩を堆積した。中生代は、国全体を覆って始まる広大な海進が特徴であり、同時に白亜紀前紀のクルヌブ砂岩、頁岩と白亜紀後期から第三紀始新世にかけて、アジュラムとベルカ層群の石灰岩、泥灰岩、砂質石灰岩の堆積が継続した。上部始新世の海退と侵食作用の時期は今日まで持続している。

この時期は、ジョルダン北部とシリアの広大な玄武岩流を伴う火山活動が特徴であり、アズラック、エルジャフル、アラバ、ジョルダン溪谷に湖成、河成堆積層が部分的に堆積している。

(2) 地質構造

ジョルダンは、主としてアカバー死海—ジョルダンバレー地溝帯とジョルダン台地の二つの構造帯に分けられる。地溝帯の走向移動断層は、北北東から南南西に延びる。この重要な断層の特徴は、南ジョルダンで古生層と先カンブリア基盤層を分離しているクウェイラ断層であり、白亜紀のクルヌブ層群が隆起、露出したアジョルム褶曲である。

ジョルダン台地では、二つの主要な断層が北西から南東方向と東西方向に延びている。主な北西—南東方向の断層は次のとおりである。

—南部砂漠地域のカディシームダワラ断層は、台地の南部で古生層と中生層（白亜紀）を分離している。この断層沿いに玄武岩質貫入岩が貫入しており、ディシ帯水層では、これが地下水流の障壁として作用している。この断層は、サウディ・アラビアに延びている。

—中部のカラク断層は、サウディ・アラビアに延びており、シャーハン台地からエルジョフル地域を分離している。この断層沿いの垂直移動は少ないか零であり、玄武岩質貫入岩の貫入は、この断層の引っ張り性質を証明している。

東西方向に延びる断層の中で、シャハン—シワカ断層が最も重要な断層である。この断層は、ワディムジブを通してサウディ・アラビアに延びており、弾性波速度の解析では大

略 500 m の垂直移動を暗示している。

ジョルダンでは主要な二つの沈降帯がある。アズラックーワディサーハンとエルジャフル沈降帯である。すなわち、アズラックーワディサーハン沈降帯は、アズラックからサウディ・アラビアに位置している。エルジャフル沈降帯は、カディシームダワラとカラク断層の間に挟まれた範囲にあり、沈降帯の中心では堆積岩の厚さは大略 4,000 m である。

(3) 水理地質

1) 帯水層と涵養量

ジョルダンの地質層序は、帯水層と半透水層の層序を形成する岩相層序区分の単位で水理地質学的に細分される。主な帯水層は古い時代のものから順に次のとおりである。

- a) ディシィ砂岩層
- b) クルヌブ砂岩層とクルヌブ・ザルカ砂岩、白雲岩層
- c) 下部アジュールム石灰岩層とフマン石灰岩層
- d) アンマンワディスール石灰岩層
- e) リジャム石灰岩層
- f) 玄武岩
- g) 新第三紀鮮新世～第四紀沖積層

この帯水層のうち、a) から e) の帯水層上面までの深度と静水位を表 4-2 に示す。また、アズラック付近での f) の玄武岩帯水層の上面までの深度は、0～40 m 程度であり、ジョルダン溪谷での沖積帯水層上面までの深度は 10～数十 m 程度である。

上記の主帯水層のうち、ディシィ砂岩層は新しい涵養のない完全な化石水である。また、b)、c)、d) の帯水層は大部分が化石水であるが、ジョルダン西部高原地域等に露出する地帯では、部分的な新しい涵養を受けている。e)、f)、g) の帯水層は降雨による涵養を受けている。表 4-1 に、同国の各水理区ごとの降雨による涵養を受けて再生可能な地下水の推定量を示す。これによれば、年間の再生可能な地下水量は約 275 MCM と推定されている。

表 4 - 1 Distribution of groundwater among basins

Basin area or well field	Safe yield (M C M / year)
A. Renewable groundwater resources	
1. Amman-Zarka	87.50
2. Azraq	24.00
3. Yarmouk	40.00
4. Jordan River side wadis	15.00
5. Jordan River Valley	21.00
6. Dead Sea	57.00
7. North Wadi Araba	3.50
8. South Wadi Araba	5.50
9. a. Jafr	9.00
11. Sarhan	5.00
12. Hammad	8.00
Total renewable	
	275.50
B. Nonrenewable groundwater resources	
9.b. Jafr	18.00
10. Mudawwara and southern desert *	125.00
Total nonrenewable	
	143.00
Total	
	418.50

*) Depending on the time horizon of exploitation of the Disi aquifer.

出典：1992年 Jordan's Water Resources and their Future Potential.

2) 湧水分布状況

ジョルダンの湧水は、例外を除きワディアラバ-死海-ジョルダンバレー地溝帯の東斜面に位置し、平均年間の総湧水量は55 M C M / Yr と見積られており、その98%がこの地域に湧出する。これらは、流域によりジョルダン溪谷流域、死海流域、ワディアラバ流域、その他に分けられる。

ジョルダン溪谷流域	23か所	21.03 MCM / Yr
死海流域	33か所	24.06 MCM / Yr *
ワディアラバ流域	8か所	0.09 MCM / Yr
アズラック流域	2か所	0.07 MCM / Yr
エルジャフル流域	2か所	0.10 MCM / Yr

表 4 - 2 帯水層頂部までの深度と静水位

帯水層	Basin	Depth To (mbgl)	
		Aquifer Top	Static Water Level
ディン砂岩帯水層	Jordan R	800 - 3,500	c. 200
	Azraq	900 - 3,500	100 - 400
	Hammad	2,000 - 4,000	400
	Dead Sea	500 - 1,500	> 400
	Sirhan	2,000 - 2,300	100 - 400
クルヌブ砂岩帯水層	Jordan R	250 - 1,350	150 - 400
	Azraq	800 - 3,500	100 - 400
	Hammad	200 - 2,000	250 - 400
	Dead Sea	500 - 1,000	300 - 500
	Sirhan	250 - 3,000	150 - 400
	Jafr	150 - 600	150 - 400
アンマン、ワディ、シル石灰岩帯水層	Azraq	400 - 1,600	AF - 250
	Hammad	180 - 600	180 - 350
	Sirhan	200 - 1,500	80 - 150
	Dead Sea	200 - 700	150
	Jafr	100 - 400	70 - 150

帯水層	Depth To (mbgl)		
	Basin	Water Level	Base of Rijam
リジャム石灰岩帯水層	Azraq	5 - 180	0 - 750
	Hammad	15 - 270	120 - 500
	Sirhan	15 - 300	200 - 700

表 4 - 3 流域ごとの湧出量と塩分濃度

Baisou	Catchment	Average Flow		Average TDS
		(MCM/Yr)	(l/s)	(mg/l)
Jordan River (A)	Yarmouk	1.7340	54.980	1,292
	East Bank	8.8510	280.660	897 - 3,860
	W Zerqz	10.4440	331.660	1,010 - 2,696
	TOTAL	21.0290	667.300	-
Dead Sea (C)	East Bank	23.9740	760.220	1,024 - 7,841
	Mujib	0.0108	0.340	2,274
	EL Karak	0.0801	2.540	1,121 - 1,605
	TOTAL	24.0649*	763.100	-
Wadi Araba (D)	Khuneizir	0.0037	0.117	1,432
	Musa	0.0440	1.395	1,112 - 1,409
	Huwar	0.0030	0.095	1,292
	TOTAL	0.0507	1.607	-
Azraq		0.7400	23.465	1,043
El Jafr		0.1000	3.171	1,100
G. Total		45.9846		

*) 平均年間湧水量は、このほかに Zara 湧水 9.1MCM/Yr が加わり、全湧出量は 55.085 MCM /Yr となる。

3) 地下水域と賦存量

ジョルダンでは、ウエストバンクを除いて10の地下水域に細分されている。地域の境界は、地下水の分水界、流れの系列、帯水の限界、または重要な地形の特徴のいずれかによっている。その内容は次のとおりである。

表 4 - 4 Extensions of Ground Water Provinces
(after Water Master Plan 1977; modified)

Number	Name	Area (km ²)
1	Yarmouk Basin * (Jordan part)	1,514
2	Jordan Valley escarpment	2,368
3	Zerqa River Basin	4,710
4	Dead Sea escarpment	7,104
5	Wadi Araba escarpment	2,960
6	Aqaba Basin	2,648
7	Jafr Basin	15,170
8	Azraq Basin	17,050
9	Sirhan Basin	12,600
10	Hammed Basin	19,300
Total		85,424

*) The area of the total Yarmouk Basin (Jordan and Syria) is 6,700 km²

この地域別の地下水資源は、表 4-4 に示すとおりである。これによれば、利用可能な地下水は 329 MCM/Yr、地下水賦存量は 24,580 MCM と見積られている。ジョルダン溪谷では、利用可能な地下水は 54 MCM/Yr、地下水賦存量は 2,800 MCM と見積られている。

表4-5 Ground Water Resources Situation in 1987 (M m³; after Water Master Plan 1977, updated)

1 GW*1 Area	2 Aquifer	3 Total GW Recharge Annual	4 Total GW Discharge Annual	5 Base Flow Discharge Annual	6 Underflow to		7 Water Resources Annual	8 Available Resources Annual	9 Available Storage (Mm ³)	10 Remarks
					Annual	Region				
1	AB	39.0	63.8	15.2			23.8	35.0	800	M, B
2	AB, K	94.0	140.2	60.1	2.0	Dead Sea	33.9	54.0	2,800	B, S, SS
3	AB	116.0	136.5	15.0	15.0	1.0	101.0	35.0	1,600	B, M, R, P
4	AB, K	127.4	132.5	23.0	59.0 / 1.0 / 1.0 / 57.0	8.0 5.0 Dead Sea	108.0	67.0	3,200	B, M, S, SS
5 ^{*2}	K - D	35.7	23.2	14.7	1.0	Dead Sea	21.0	8.0	1,000	B, S, SS
6	R	9.1	10.5	0.6	9.5	Gulf of Aqaba	8.5	8.0	450	B, M, S
7	AB, K - D	9.0	56.8	0.8	61.0 / 29.0 32.0	9.0 8.0	8.3	75.0	9,000	M
8	V, AB, R	100.0	35.0	4.0	55.0 / 2.0 / 5.0 / 2.0 / 56.0	9.0 K - D S.A. ^{*4} 4.0	96.0	29.0	1,680 ^{*3}	B, S, SS
9	AB, K - D	39.5	39.5		35.5 / 16.5 / 19.0	S.A. 8.0	39.5	5.0	50	S
10	V, AB, Z, D	23.0	2.0		9.0 / 5.0 / 4.0	8.0 S.A.	23.0	13.0	4,000	S, SS

QUANTITY OF WATER FOR: IRRIGATION = 257.0 Mm³ GW + 282.0 Mm³ SW
(1987) DOMESTIC SUPPLY = 150.0 Mm³ GW
INDUSTRY = 20.0 Mm³ GW

*1) See Figure 4-3 (enclosure)

*2) No recent investigations have been carried out

*3) Basalt AB is stored water only

*4) Kingdom of Saudi Arabia

Note : Available storage calculated for depth to water less than 200 meters.

Remarks : Constraints to and potential effects of the exploitation of the ground water resources;

B - Ground water exploitation will, or may reduce, if not properly located, the discharge of springs or base flow in less than ten years.

M - Ground water abstractions properly located can be taken from storage for a long period before affecting the base flow or other users (mining).

R - Ground water exploitation can make use of return flow or induced recharge with the danger of rising salinity.

P - Ground water is polluted.

S - Resources are partially mineralized.

SS - Most of the ground water resources are not exploitable because of high salinity.

Natural resources in Jordan 1988.

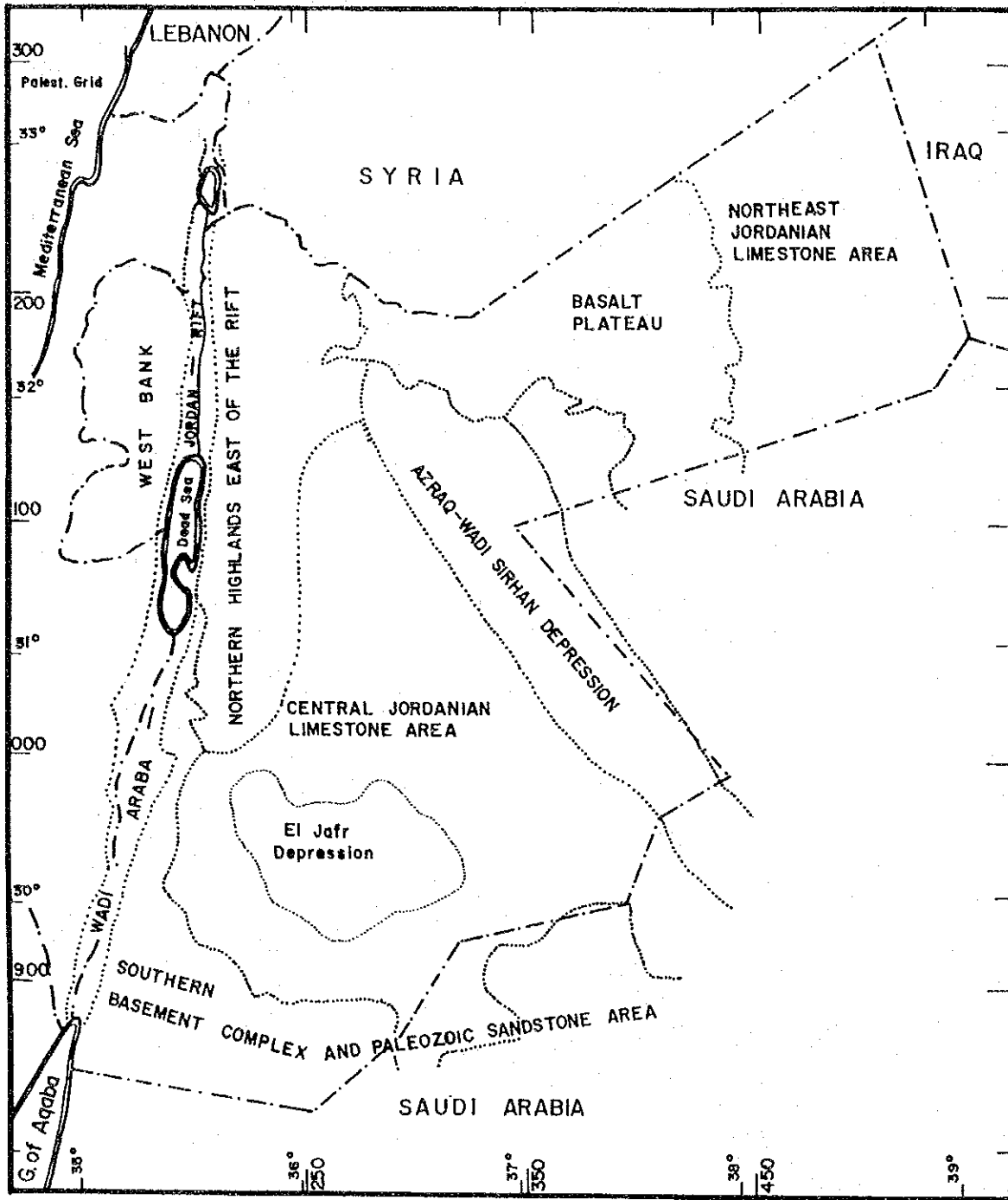


图4-1 地形区分图

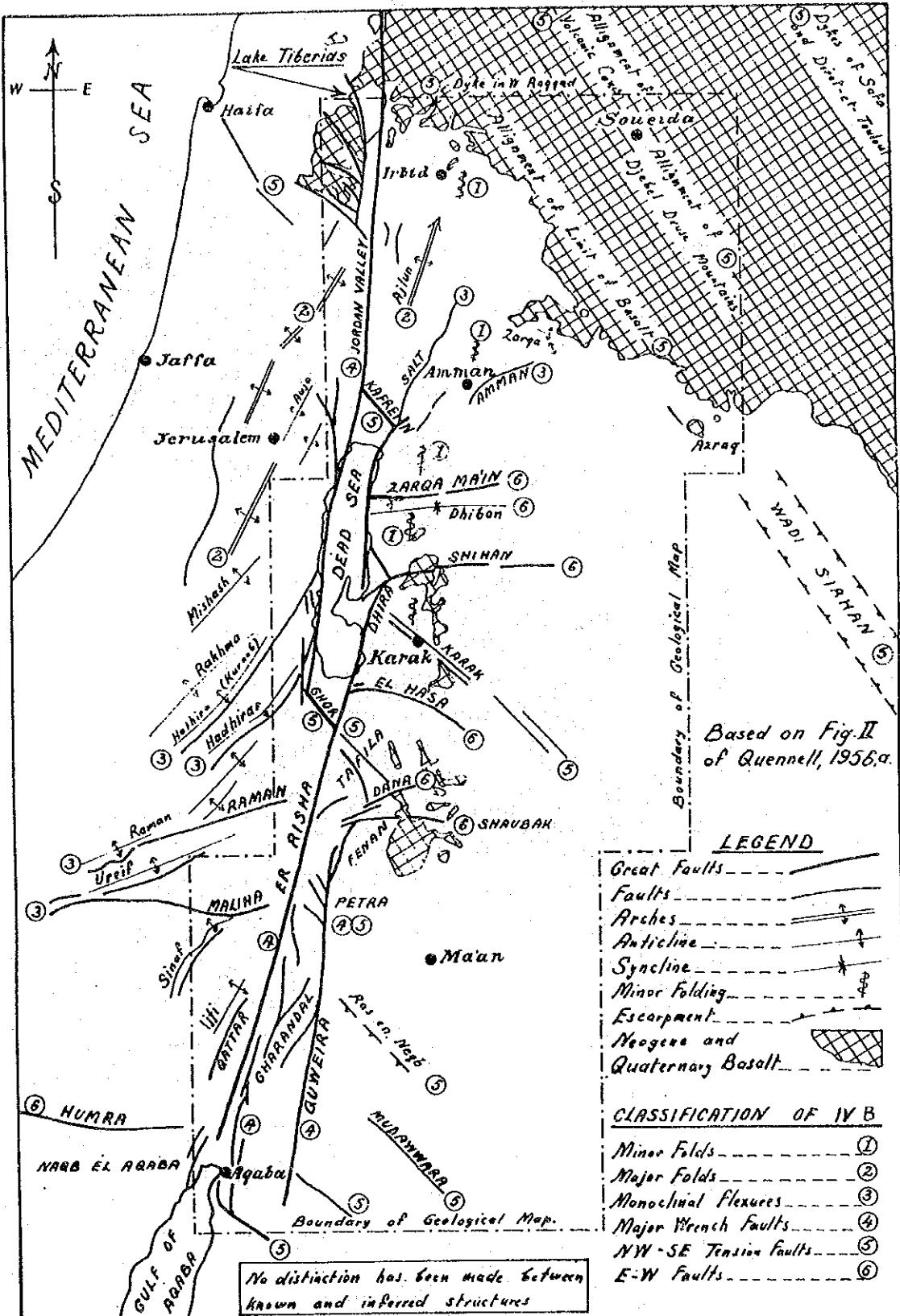


図4-2 主な地質構造図

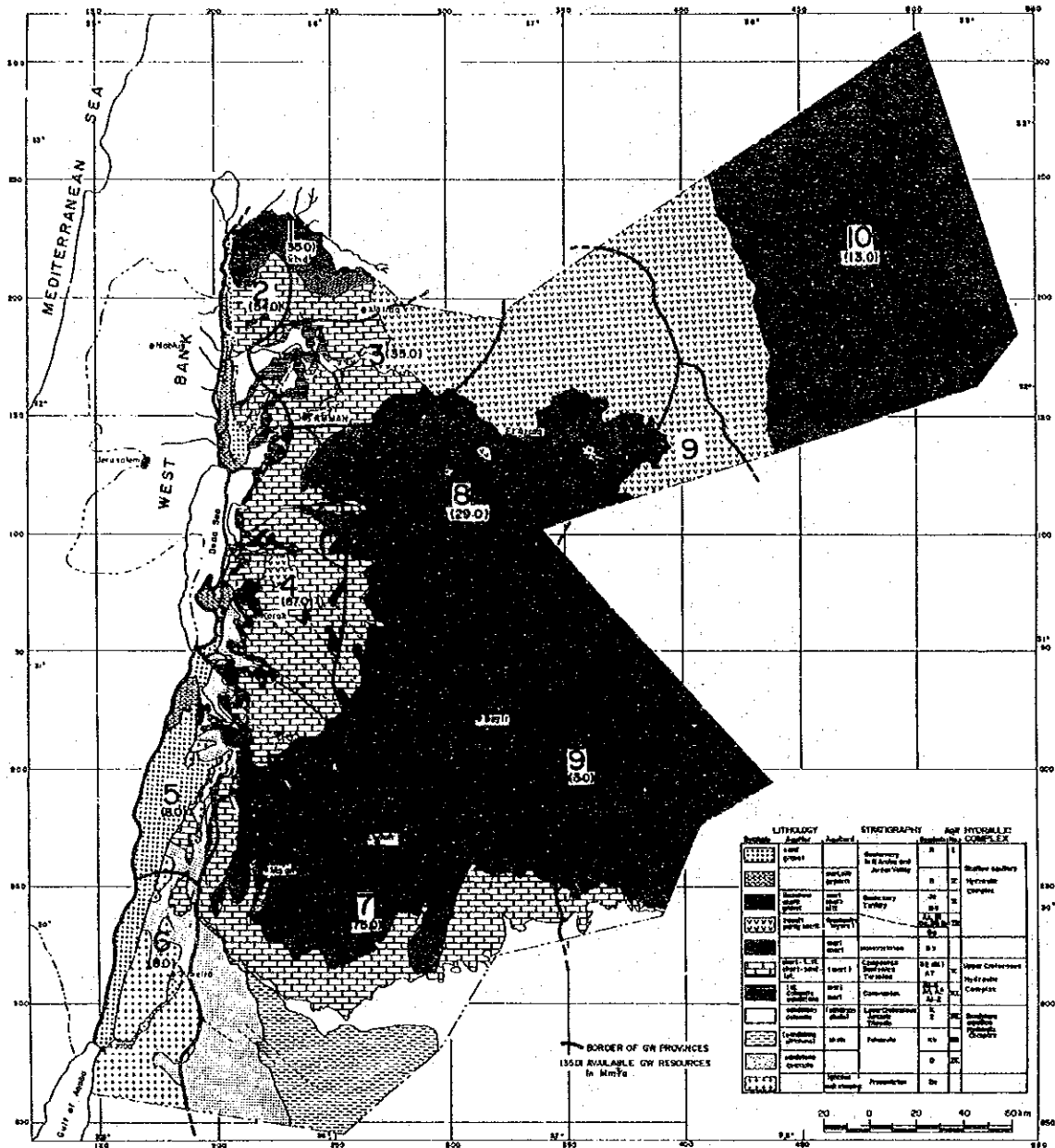


图 4-3 地下水域と利用可能な地下水

4-1-4 気象・水文

「ジョ」国は、全体では乾燥して暑い夏と、雨の多い低温の冬をもつ地中海性気候であり、この中で東から半乾燥地域、高原地域、ジョルダン溪谷の半熱帯地域に分かれる。ジョルダン溪谷は海面下 200 m から 400 m に広がり、夏は暑く、冬は温暖である。

夏期の平均気温は 31°C、平均日最高気温は 39°C になる。この国の観測最高気温は死海で 51.2°C が記録されている。冬期は平均気温 15°C、平均日最低気温は 9°C である。この地域では北部から流れ込む冷たい空気によって霜の降りることもあり、1973 年にはワジ・ヤビスで氷点下 2.2°C が記録され、農作物に大きな被害を与えた。

降雨は、主に冬期の 1 月、2 月を中心に降り、雨期は 10 月から 3 月までである。年平均降雨量はアズラン山脈で 500 mm/year を超えるが、ジョルダン溪谷では南から 100～400 mm 程度の分布である。ジョルダン溪谷の水資源は、ヤルムク川に注ぎ込むシリア領内の降雨と、アズラン山脈西斜面の降雨によって涵養されている。

湿度は、夏期に日平均湿度 35% と低い、冬期には 60% 程度となる。

全国で 32 か所の気象観測所があり、ジョルダン溪谷には 7 か所がある。

RAINFALL DISTRIBUTION - NORMAL YEAR
(LONG TERM AVERAGE)

NATIONAL ATLAS OF JORDAN

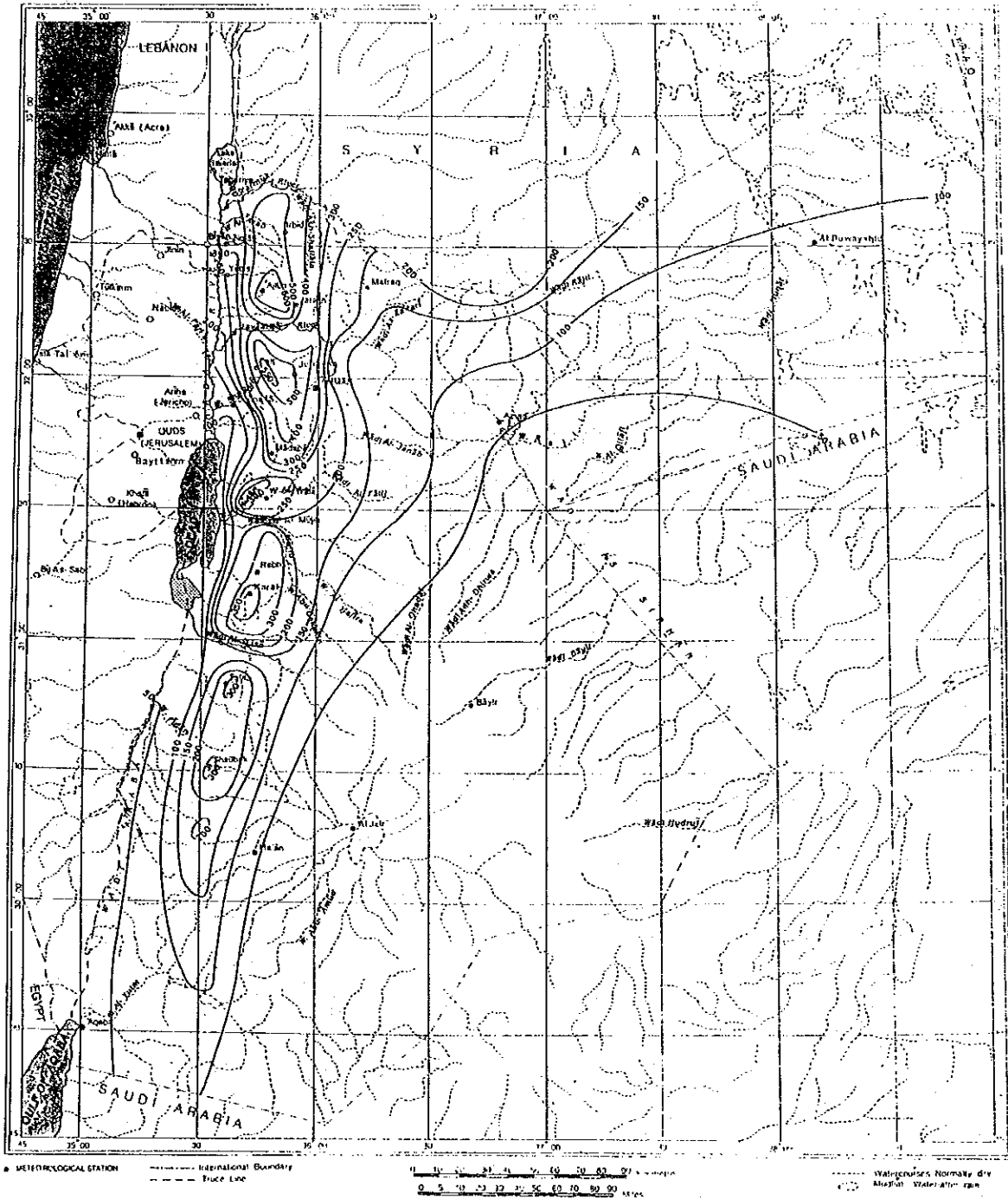


图 4-4 年間降雨分布图 (平年)

4-1-5 土地利用

ジョルダン渓谷は、ジョルダン川の近隣を除く平地のほとんどを農地として利用している。これら農地は私有地として開発されているところが多く、キングアブドラ幹線用水路によってヤルムク川より導水し、灌漑を行っている。“ヤルムクー死海道路”沿いに都市・集落が点在し、幹線水路より東側の斜面は、ワジ沿いの耕地を除いては未利用となっている。調査地域では、灌漑水の豊富な北部・中部地域で大規模な農地開発が行われているが、死海に近い地域では、用水不足のため、農業開発が遅れている。この地域では部分的にワジに建設したダムによって灌漑農業を行っている。農地として利用されていない地域は羊の放牧地として利用されているが、羊の総数は少ない。

4-2 社会・経済

4-2-1 人口

1992年の統計年鑑では、「ジョ」国の人口は全国で4,012,000人、1991年からの人口増加率は3.2%であった。これに対して、ジョルダン渓谷では149,100人、人口増加率は1.1%であった。これを、1979年からの変化と比べると、全国では2,133,000人、5.0%、ジョルダン渓谷は87,600人、4.2%である。ジョルダン渓谷では、1980年代に入ってから全国の人口増加率を上回る5.9%（移住者増加率2.0%を含む）と急激な値を示していたが、1990年以降、特に人口増加の鈍化がみられる。この現象は、ジョルダン渓谷地域が私有大規模農園であり、湾岸戦争後に湾岸諸国への農作物の輸出が止まったため、これら農園単位で入植調整を行っているものと思われる。しかし、農園の作業従事者は人口統計に表れない外国人労働者が主であるため、実居住者の人口は調査が必要である。ジョルダン渓谷開発公社（JORDAN VALLEY AUTHORITY）の統計では、1991年の全居住者を20,000人の算定している。

「ジョ」国では、政治・経済・文化ともにアンマン市等の北部地域を中心に発達しており、全国の人口のうち60%が、この地域に居住している。

表4-6 人口推移状況

年	1990	1991	1992	1995	2000	2005	2010	2015	人口増加率%
Jordan国	3,453,000	3,888,000	4,012,000	4,408,237	5,157,489	6,034,088	7,059,679	8,259,586	3.189
Amman	1,442,000	1,573,000	1,625,000	1,791,543	2,107,902	2,480,125	2,918,077	3,433,365	3.306
Zarqa	499,000	601,000	622,000	689,506	818,686	972,069	1,154,188	1,370,428	3.494
Irbid	835,000	950,000	979,000	1,071,420	1,245,246	1,447,273	1,682,077	1,954,875	3.053
Mafraq	121,000	156,000	160,000	172,626	195,922	222,362	252,370	286,427	2.564
Balqa	238,000	239,000	245,000	263,919	298,753	338,184	382,819	433,346	2.510
Karak	147,000	163,000	169,000	188,358	225,673	270,380	323,944	388,119	3.681
Tahiela	51,000	62,000	64,000	70,395	82,506	96,700	113,336	132,834	3.226
Ma'an	120,000	144,000	148,000	160,679	184,270	211,325	242,352	277,935	2.778
Jordan Valley	145,900	147,500	149,100	154,005	162,541	171,550	181,058	191,093	1.085

4-2-2 産業

調査地域の主要産業は農業である。1986年には、292,533 dunum の農地で主に野菜、果樹類が生産され、それらから 59,747,095 JD 生産額があった。この地域の農業生産量は技術の進歩と生産方法の改良で飛躍的な伸びを示し、1973年に 1.0 ton/ha であった野菜と 0.7 ton/ha であった果実が、1986年には各々 1.8 ton/ha、1.6 ton/ha へと伸びている。これらの農業生産を利用して 1991年には公営施設では 2 か所の農産加工施設と 7 か所の農業関連工場がある。

農民あるいは農場に対するローンは公的機関として農業信用組合 (the Agricultural Credit Corporation)、ジョルダン協同組合 (the Jordan Cooperatives Organization)、ジョルダン渓谷農民組織 (the Jordan Valley Farmers Association) がある。1987年には、これらの機関で 38,060,326 JD の貸付けを行った。

また、ジョルダン渓谷には、1987年時点で 84 の一般企業があるが、ほとんどが農業関連企業である。そのほか、観光施設は 5 か所ある。

4-2-3 インフラ整備

ジョルダン渓谷では、谷の東側に谷を南北に縦断する延長 105 km の幹線道路が走っている。この道路は幅員 7.9 m のアスファルト舗装道路である。この地域には総延長 1,600 km の支線道路がある。これらのうち 300 km はアスファルト舗装されている。旅客・貨物輸送手段は全て道路による陸送である。

この地域では電気事情は良く、1986年現在で 12,000 戸のうち 90% が電気の供給を受けている。灌漑用のポンプの動力源として、幹線道路沿いに 33 KVA の送電線が総延長で 110 km 伸び、北部地域のアズランとジョルダン渓谷のカラメー間の 20 km にも 33 KVA の送電線が引かれている。

1975年からジョルダン渓谷北部、中部地域では A I D の援助でインフラ施設整備が行われた。この計画は、学校、病院等の建設であった。1991年現在、94 の学校、3 の訓練所、5 の病院、15 の保健施設等が建設されている。

第5章 ジョルダン国の水資源開発と本調査のかかわり

5-1 既存資料と開発基本構想

1977年に作成された「NATIONAL WATER MASTER PLAN OF JORDAN」は、ジョルダン国の水資源状況と将来計画を詳細に検討している。現在は、1995～2000年の国家5か年計画があり、その中で地下汽水開発構想を発表している。また、新しい水資源マスタープランを作成中である。その他最近の調査は、各分野にわたり詳細に行われて、その情報管理もよい。各種レポートでは作成年度、作成機関によって各数値に多少の違いがある。しかし、各資料とも「ジョ」国の全域で水不足が生じ、新たな安い水源の確保は困難と述べている。

気象、人口、財政、などの基本統計は、各担当局や研究所などの政府機関でデータの収集・解析が行われている。しかし、それらは各々の目的に応じたレポートであるため、本調査で扱う汽水淡水化計画を目的とした検討を行うためには、既存レポートの中から必要な情報を抽出し、本計画の中で、それらを基礎としたとりまとめが必要である。

5-2 水需要の動向

5-2-1 水資源

(1) 表流水

「ジョ」国では、15の主要な河川流域に分かれ、降水量の約10%が河川流量として現れる。降雨は北西部の山岳地域に集中し、ジョルダン渓谷に流れ込む河川が、主な表流水の水源地域となっている。ヤルムク川では、シリア領内に流域があり、その降雨を集水している。「ジョ」国全体の表流水流量は715MCMで、このうちジョルダン渓谷に流入する流量は446MCMである。

(2) 地下水

同レポートでは「ジョ」国の地下水の年間涵養量は275MCMで、このうちジョルダン渓谷、北部地域で各々36MCM、127.5MCMでの涵養量があると予測されている。このほか化石水として143MCMが期待でき、合計で年間418MCMの地下水及び地下汽水が利用可能と述べられている。この化石水のうち、現在調査中の南部ディシィの水源地は、今後50年にわたり125MCM/YEARの取水可能性があると述べられている。また、同じく南部ジャフェルでは18MCM/YEARの安定取水が見込まれる。(表4-1参照)

1988年のWORLD BANK「Jordan Water Resources Sector Study」のレポートには、安定利用の可能な地下汽水は140MCM/YEAR(涵養水)と見込まれている。

表5-1 DISTRIBUTION OF SURFACE WATER AMONG BASINS

BASIN	MCM/YEAR				
	BASE FLOW	FLOOD FLOW	SPRING FLOE	TOTAL FLOW	JORDAN VALLEY
1. Yarmouk at Adasiya	130.00	155.00	21.40	285.00	285.00
2. Ghor-Jordan Valley	0.00	2.40	19.30	21.70	21.70
3. N. Jordan Valley	36.07	13.91	48.63	49.98	49.98
4. S. Jordan River side wadis	24.76	5.58	28.90	30.34	30.34
5. Zarka River	33.51	25.67	38.91	59.18	59.18
6. Dead Sea	53.95	7.20	57.60	61.15	
7. Mujib	38.10	45.54	16.00	83.64	
8. Hasa	27.40	9.40	3.90	36.44	
9. N. Wadi Araba	8.99	2.57	15.63	18.20	
10. S. Wadi Araba	0.00	3.16	2.44	5.60	
11. Southern desert	0.00	2.15	0.05	2.20	
12. Azraq	0.00	26.80	0.60	27.40	
13. Sarhan	0.00	10.00	0.00	10.00	
14. Hammad	0.00	13.00	0.00	13.00	
15. Jafr	0.00	10.00	1.92	11.29	
TOTAL	352.78	332.02	255.28	715.12	446.2

出典：1992年 JORDAN'S WATER RESOURCES AND THEIR FUTURE POTENTIAL REPORT

(3) 水資源利用量

1990年の表流水の利用実績は360MCMで、総利用可能量715MCMの約半分を使用している。(出典：Jordan's Water Resources and Their Future Potential)

- ・灌漑用水 322 MCM
- ・生活用水 30 MCM
- ・工業用水 8 MCM
- 合 計 360 MCM

同年の地下水利用量は520MCMと利用可能量を大幅に超えた量を使用している。これは化石水の利用とともに、水質の悪い用水の利用、灌漑などによって地下に浸透した量の浅井戸からの取水等が計上されているものと考えられる。(出典：Jordan's Water Reso-

ources and Their Future Potential)

・ 灌漑用水	329 MCM
・ 生活用水	150 MCM
・ 工業用水	35 MCM
・ 家畜用水	6 MCM
合 計	520 MCM

1977年のマスタープランでは、渇水年の降水量が5,758 MCM/YEAR、利用可能表流水は597 MCM/YEARと、最近の各種レポートの表流水賦存量よりも少ない値が示されている。1977年以降、降雨は減少傾向にあり、これに応じて河川の流出率も減少傾向を示すため、新しい水資源マスタープランの作成時には、利用可能表流水は上表より下がる可能性がある。

(4) 供給量

1990年の生活用水の供給源実績値では、総量180 MCMのうち80% (150 MCM) が地下水である。このほか湧水20 MCMと農業用水から転用した生活用水が8 MCMあった。これら180 MCMの55%は水源地から消費地まで長距離の送水を行っている。用水消費地は、「ジョ」国の北部地域のアンマン地域、ザルカ地域、イルビット地域とバルカ地域で、常に生活用水の不足が生じており、特にアンマン地域、イルビット地域は最近の需要量の伸びに対して供給量が不足している。

アンマン地域では、1986年から1990年までの5年間に人口の伸びが27%と大きく、それに対して不足量も3 MCM/YEARから12.9 MCM/YEARへと増大している。ザルカ地域では供給量がここ5年間で11.9 MCM/YEARから21.8 MCM/YEARと83%の伸びを示している。イルビット地域では、近年急速に供給量に不足をきたしている。

表5-2 TOTAL WATER SUPPLY PER GOVERNORATE (1986-1990)

MCM/YEAR

YEAR	1986		1987		1988		1989		1990	
GOVERNO- RATE	SUPPLY	SHORTAGE	SUPPLY	SHORTAGE	SUPPLY	SHORTAGE	SUPPLY	SHORTAGE	SUPPLY	SHORTAGE
Amman	59.4	3.0	68.2	2.2	74.6	4.5	73.1	4.3	75.2	12.9
Zarqa	11.9	1.0	12.6	1.5	14.7	2.0	17.1	3.0	21.8	3.5
Irbid	23.2	1.0	27.8	1.0	30.0	2.5	30.2	0.0	30.1	8.8
Mafrqa	14.0	0.0	11.6	0.0	13.4	0.0	13.3	0.0	15.1	0.0
Balqa	8.2	1.7	9.1	1.7	10.3	1.7	13.1	1.7	12.5	4.9
Karak	3.9	0.0	4.8	0.0	5.0	0.0	5.6	0.0	5.9	0.0
Tafileh	1.7	0.0	1.8	0.0	2.0	0.0	2.3	0.0	2.2	0.0
Ma, an	12.4	0.0	14.5	0.0	14.7	0.0	15.4	0.0	15.9	0.0
Total	134.7	6.7	150.4	6.4	164.7	10.7	170.1	9.0	178.7	30.0
Total Supply + Shortage	141.4		156.8		175.4		179.1		208.6	

出典: Jordan's Water Resources and Their Future Potential

(5) 水需要量

「ジョ」国の人口増加率は1991年から1992年で3.2%と高い数値を示している。北部地域はアンマン地域3.3%、ザルカ地域3.5%、イルビット地域3.1%と平均より多少多い増加率を示している。これに対して、ジョルダン渓谷では1.1%と低い値である。(表4-1参照)

水需要量の実績は「Jordan's Water Resources and Their Future Potential」レポートによれば、1990年ではアンマン地域の単位当たり水消費量は143L/C/D、ザルカ地域112L/C/D、イルビット地域101L/C/Dである。1977年のマスタープランでは2000年を目標にアンマン市で120L/C/Dを算定したが、現在の資料では2005年で180L/C/Dと提唱されている。

農業用水の消費量は、1990年で800MCM、1992年に860MCMの実績値が報告されている。しかし、灌漑方法の改良、作目の変更などで消費水量の低減を図りつつあり、2000年に1,088MCM/YEARの最大値が予想され、以降は灌漑水量に増加はないものと思われる。

表 5 - 3 水需要量 (生活用水は人口に 180l/c/d を乗じて求めた。)

年	1990	1992	1995	2000	2005	2010	2015
生活用水	227	264	290	339	396	464	543
灌漑用水	800	860	950	1,088	1,088	1,088	1,088
工業用水	43	55	73	101	118	134	150
合計	1,070	1,179	1,313	1,528	1,602	1,686	1,781

出典：1992年 USAID (A Water Management Study for Jordan)

1992年の水需要量 (1,179 MCM) は、表 4 - 1 と表 5 - 1 示した表流水と地下水の賦存量 (715 + 418 = 1,133 MCM) を既に超過しており、これは現在計画中の全ての計画を完了しても水不足は解消しないことを意味する。そのうえ、現在の給水施設建設状況は需要量に追いついておらず、用水供給量は既に大幅に不足している。

表 5 - 4 供給量 (単位：MCM/YEAR) 灌漑用水は除く。

年	1990	1992	1995	2000	2005	2010	2015
需要量	270	319	363	440	514	598	693
供給量	179	208	(230)	(270)	(330)	(460)	(460)
不足量	91	111	133	170	184	138	233

出典：1992年 USAID (A Water Management Study for Jordan)

1995年以降の () は WORLD BANK でまとめた 1988年の計画による参考値である。

5 - 3 水資源開発

現在、「ジョ」国及び国際機関では、多数の水資源開発関連調査及び建設工事を行い、既に国内で安価に開発できる水資源は全て検討している。しかし、「ジョ」国の水供給不足は深刻なものであり、現在なお拡大するアンマン市及び北部地域の水需要に対して、比較的成本がかかっても、新しい水源開発が必要となっている。

現在建設されている給水事業は以下のとおり。

表 5 - 5 既設給水事業一覧表

送水施設		送水量	
生活用水			
アズラック	.....アンマン	20	(MCM/YEAR)
デイル・アラ	.....アンマン	45	(MCM/YEAR)
ワディアラバ	.....イルビット	20	(MCM/YEAR)
スワカ/カスタル	.....アンマン	15	(MCM/YEAR)
ザタリ	.....マフラック	30	(MCM/YEAR)
スルタニ	.....カラック	17	(MCM/YEAR)
ザタリ	.....ドゥレイル	30	(MCM/YEAR)
小 計		157	(MCM/YEAR)
灌漑用水			
ダム			
キングタラルダム		89	(MCM)
ワディエルアラバダム		20	(MCM)
ジクラブダム		4.3	(MCM)
シュエイブダム		2.3	(MCM)
カフレイングダム		3.8	(MCM)
小 計		119.4	(MCM)
用水路			
キングアブドゥラカナル		300	(MCM/YEAR)
合 計		576.4	

出典：

Water Resources of Jordan Present Status and Future Potential

1988年の WORLD BANK 「Jordan Water Resources Sector Study」 レポートでは、2015年までの水資源開発事業として図 5 - 1、5 - 2 のような将来計画を見込んでいる。しかし、経済的、社会的な検討を必要とするプロジェクトも含まれている。

表 5 - 6 生活用水及び工業用水における将来計画

(MCM/YEAR)

プロジェクト名	開発容量	開発開始予定年度
デイル・アラ	45	
ワディワラ	15	1988
ムケイバ及び北部地域送水網計画 I	45	1989
ディシィ・ハサ帯水層開発 (アカバへ送水)	20	1992
北部地域送水網計画 II	65	1995
ワディムジブ下流開発及び南部帯水層開発	25	未定
ディシィ水源の北部への送水	100	2002
合 計	315	

出典：1988年 Jordan Water Resources Sector Study

これらの計画の中で、デイル・アラ ポンプ場は既に完成し、灌漑用水合理化計画である南・北ゴール計画の工事進行によって、恒常的に農業用水から転用した45MCMの生活用水、工業用水が首都アンマンへ送水される。

ワディワラ プロジェクトは、三つのワディからの湧水を開発、集水するもので、10~15MCM/YEARの生活用水、工業用水開発を北部地域へ送水する。

ムケイバ プロジェクトは、「ジョ」国北部のヤルムク川近傍における井戸開発で、20~25MCM/YEARの開発を、また、北部地域送水網計画 I により、ヤルムク川及びマカリングダムから同量を取水する計画である。この計画では、「ジョ」国北部及びアンマン市へ給水する。

南部地域におけるディシィ及びハサ帯水層の開発計画は、ディシィで19MCM/YEAR、ハサで1MCM/YEARの用水を開発し、アカバへ送水する。

北部地域水網計画 II は、シリア国との国境にワデッシュダムを建設し、取水ポンプ、浄水場、送水施設を設置して、65MCM/YEARを北部地域へ給水する計画である。

ワディムジブ計画は、ワディムジブ流域にダム、頭首工、井戸を建設し合理的な水管理を行って25MCM/YEARの水をジョルダン溪谷の工業計画地域へ給水する計画である。

100MCM/YEARの開発が可能といわれるディシィの地下水開発計画は、北部地域の深刻な水不足を補うために、深い帯水層からの揚水と長大なパイプラインを建設し、北部地域へ送水する計画である。

5-4 地下汽水開発計画の位置付け

図 5 - 2 の水源開発計画の将来構想では、2010年以降に新しい水源の確保が必要とされ、「ジ

ヨ」国の給水計画では、汽水開発と外国からの購買水が検討されている。購買水はイラクとトルコからパイプラインによる送水計画があるが、コストと安定供給に対し問題がある。同国に残る水資源は、現在ほとんど利用されていない汽水である。

調査対象地域のジョルダン溪谷は、同国の中で比較的水資源に恵まれた地域である。北部地域の生活用水の開発計画も、この地域に流入する河川流域に依存している。住民の飲料水は、小規模な給水施設を利用した地下淡水の使用である。地域で使用している生活用水の給水コストは約1.2US\$で、これは地下汽水淡水化プラントの水をジョルダン溪谷に送水する場合、造水コストと送水コストの合計よりも安価であると予想される。また、アンマン市を含む北部地域への送水には多大なコストが必要となり、水価の増加が生じる。しかし、ジョルダン溪谷の開発が進むにつれて生活用水（特に飲料水）は不足し、北部地域での水の絶対量の不足も明らかである。このような状況下で、将来の水需要に対応するために汽水淡水化調査を行う。

JORDAN Municipal & Industrial Demand

Production Demand Vs Sources Capacity

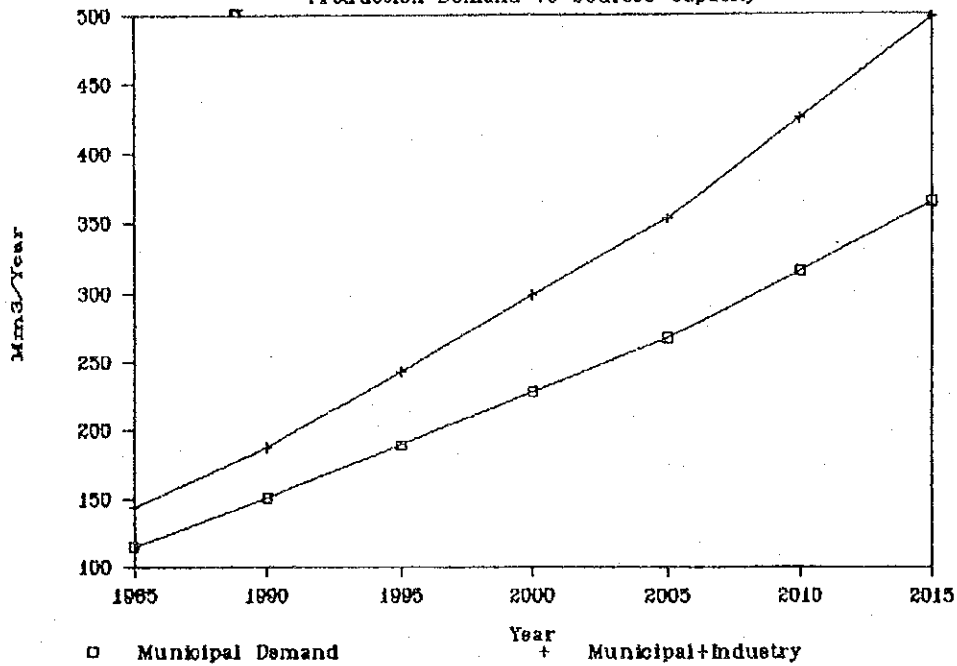


图 5 - 1 生活用水及び工業用水需要量

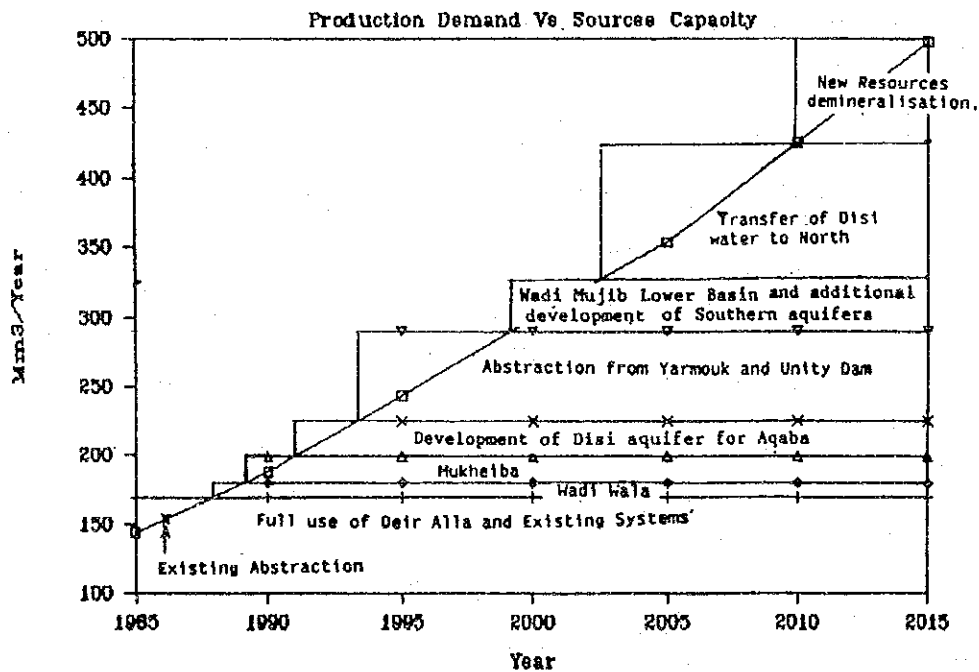


图 5 - 2 水資源開発将来計画

出典：World Bank 1988, Jordan Water Resources Sector Study

JORDAN WATER USE / RESOURCES SCHEMATIC DIAGRAM CURRENT - SITUATION

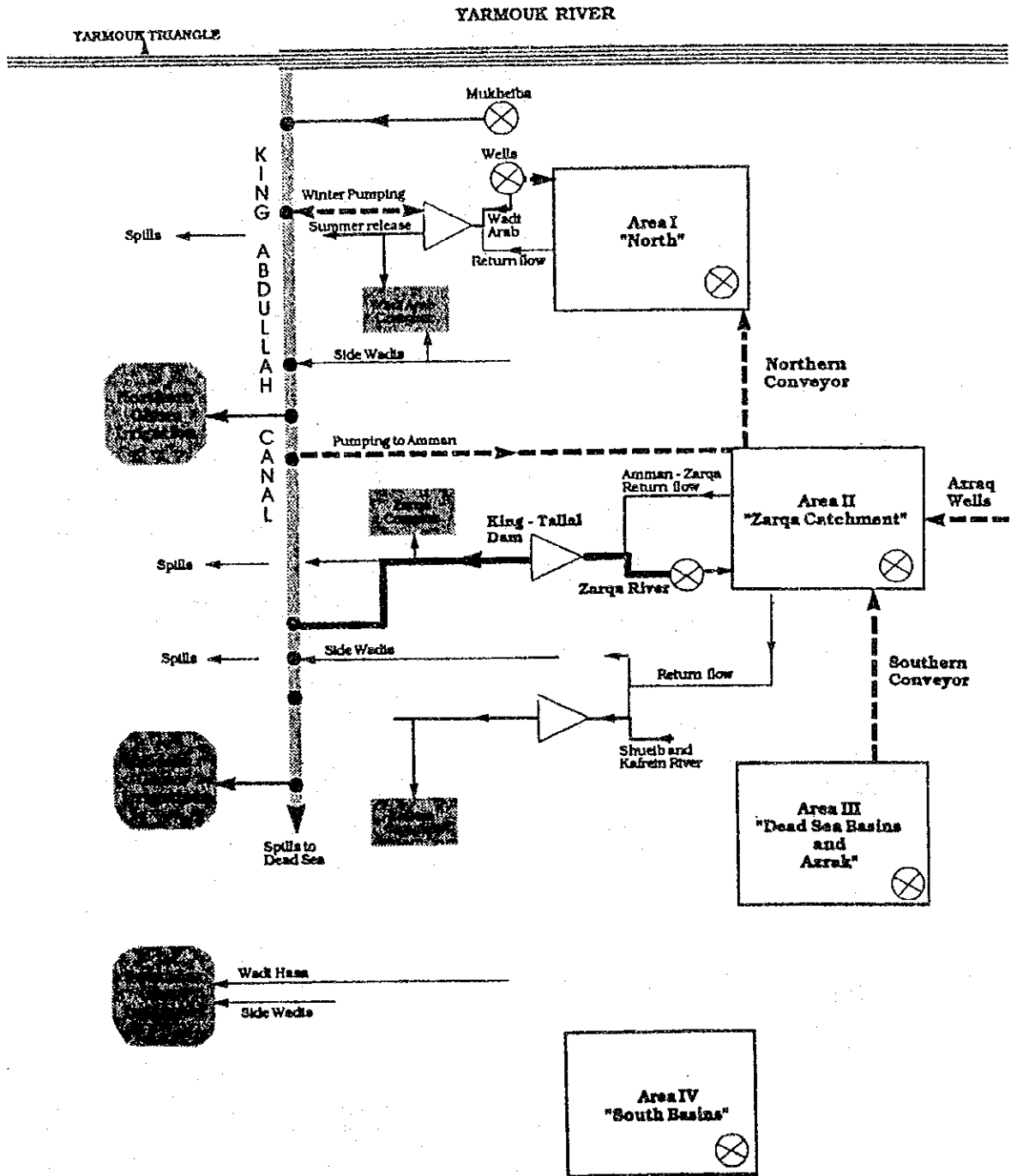


图 5 - 3 現況給水狀況模式圖

出典：World Bank 1988, Jordan Water Resources Sector Study

JORDAN WATER USE / RESOURCES SCHEMATIC DIAGRAM LONG - TERM SITUATION

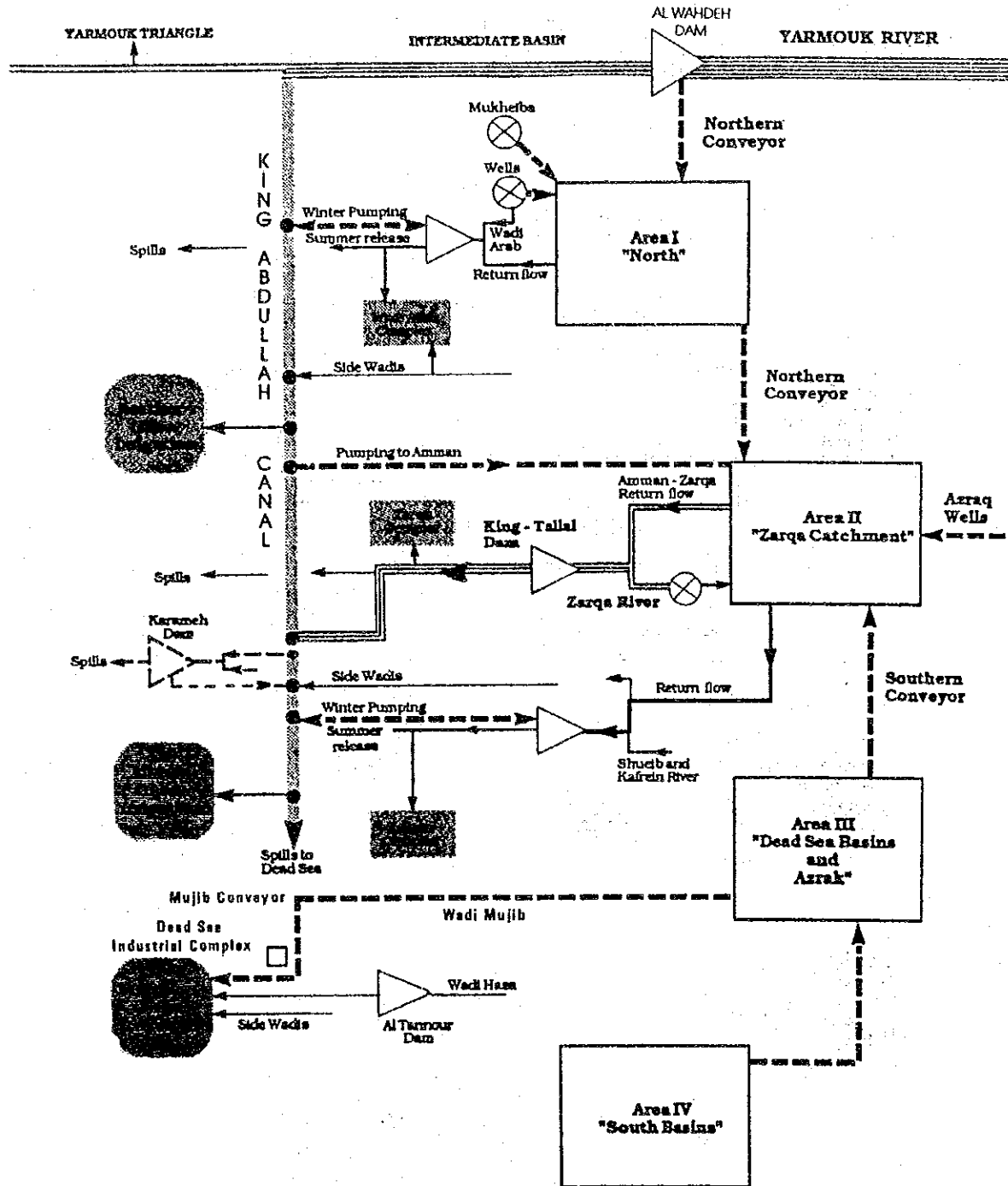


图 5 - 4 : 計画給水状況模式图

出典 : World Bank 1988, Jordan Water Resources Sector Study

第6章 現地調査結果

6-1 水理地質

ジョルダンバレーとその東側斜面の地質は、中生代三畳紀、ジュラ紀のザルカ層群、下部白亜紀のクルヌブ層群、上部白亜紀のアズラム層群とジョルダン渓谷平野部に分布する第四紀の更新世、完新世の地層により構成される。

上記の地層はいずれも帯水層であり、ザルカ層群は汽水、クルヌブ、アズラム層群は淡水であり、この帯水層は降雨による涵養を受けている。平野部の更新世、完新世の地層は、沖積帯水層上面までの深度が大略10 mから数十 mである。

6-1-1 汽水の定義

水の塩分濃度は、通常、溶けた固体成分の総量 (Total Dissolved Solid: TDS) で表す。一般に、汽水とはTDSが1,000~10,000 mg/ℓの水を総称している。その内容は次のとおりである。

種 類		TDS (mg/ℓ)
淡 水	Fresh	0~1,000 mg/ℓ
汽 水	Mildly Brackish	1,000~3,000 mg/ℓ
	Moderately Brackish	3,000~6,000 mg/ℓ
	Very Brackish	6,000~10,000 mg/ℓ
塩 水	Saline	10,000~100,000 mg/ℓ
濃い塩水	Brine	>100,000 mg/ℓ

ちなみに、WHOの水道水質基準では、TDS 500 mg/ℓ以下、海水は30,000~40,000 mg/ℓである。

6-1-2 汽水の湧水分布状況

ジョルダンでの湧水は、例外を除き死海の位置するリフトバレーの斜面に存在しており、その高度は通常、海面下-100~-200 m程度である。これらは、流域によりジョルダン渓谷流域、死海流域、ワディ、アラバ流域、その他に分けられる。その内容は以下のとおりである。

ジョルダン溪谷流域	23 箇所	21.07 MCM/Y	1,010 ~ 3,660 mg/ℓ
死海流域	33 箇所	24.06 MCM/Y	1,020 ~ 7,841 mg/ℓ
ワディ、アラバ流域	8 箇所	0.09 MCM/Y	1,110 ~ 1,410 mg/ℓ
アズラック地域	2 箇所	0.07 MCM/Y	1,043 mg/ℓ
エル、ジャフル地域	2 箇所	0.10 MCM/Y	1,100 mg/ℓ

ジョルダン溪谷流域23か所のうち、0.315MCM/Y以上の湧水は7か所で、その合計は18.692MCM/Yとなり、他は小規模である。この分布状況は、図6-2にジョルダン溪谷湧水分布図に示す。

流域	地点	湧水量MCM/Y	TDS
ヤマルミク流域	AD740	1.734	1,292
ザルカ川流域	AL517	5.160	2,696
	AL522	5.103	1,022
東部斜面	AB504	0.491	1,752
	AB603	0.860	1,676
	AB592	4.704	2,443
	AB699	0.640	1,149
計		18.992	1,719 (平均)

主な湧水の水質

	(EC)	TDS	Ca	Mg	Na	K	Cl	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	NO ₃	pH
AB504	(3,061)	1,752	202.7	293.3	242.8	15.5	404.0	3.8	420.9	829.1	28.2	7.50
AB603	(2,613)	1,676	109.1	186.1	209.8	20.2	389.8	0.0	496.3	338.8	109.3*	7.67
AB699	(1,796)	1,149	116.8	157.4	95.0	12.6	198.9	0.0	374.9	332.3	55.5*	7.89
AL517	(4,213)	2,696	209.4	250.4	515.3	47.6	826.2	0.0	511.2	498.0	175.6*	7.25
AL522	(1,646)	1,022	96.5	102.4	161.0	6.2	310.4	0.8	258.8	139.1	27.5	7.68
AD740	(2,018)	1,292	107.7	126.0	200.3	7.4	386.8	0.6	364.0	189.2	25.7	7.52
AB592	3,271	2,443	165.5	139.7	326.3	129.4	838.4	8.8	337.9	84.8	33.4	7.24

*) NO₃は汚染による増加を示す。

6-1-3 ジョルダン溪谷の帯水層

UNDPの報告書では、ジョルダン溪谷で短期的に開発可能な地区としてヒスパンとカフレイン地区のザルカ帯水層を候補に挙げている。さらに、WAJ報告書では、このほかにも有望な調査候補地として次の2地域を加えている。

- ・カラメーとアブゼイガン地域のザルカ帯水層
- ・カフレインとデイル・アラ地域の沖積帯水層

上記のうち、ヒスバンとカフレイン地区については、調査*が実施されており、この結果によれば、ヒスバンで2か所、カフレインで10か所のさく井が1983～1984年に実施され、ヒスバンの2井、カフレインの3井が汽水の自噴井である。

(1) ヒスバン地区

調査地点は海水面下-100mのワディヒスバンに位置する。ワディヒスバンは、調査地付近ではpH: 8.02、EC= 4,100 $\mu\text{v}/\text{cm}$ 、TDS = 2,624 mg/ ℓ を示す汽水であり、調査地点から約7km上流ではpH= 8.25、EC = 850 $\mu\text{v}/\text{cm}$ 、TDS = 544 mg/ ℓ を示す淡水で、現在、この水をパイプラインで調査地点の下流に導き、生活用水その他に利用している。調査井は2孔自噴井で、湧水量は500 ℓ/s 程度でH₂Sガスを混入する。開発可能量は、8 MCM/年程度と見積られ、今後の調査で増加の可能性がある。既存の2井は、さく井後約10年を経過して老朽化しており、調査井を新たに、さく井する必要がある。

ヒスバンH-1: 湧水量は1984年1月で580 ℓ/s 、2月に孔内崩壊(30m以深裸孔)と漏水のため、9月には691 ℓ/s に低下している。

ヒスバンH-2: 湧水量は556 ℓ/s 、現在、老朽化のため漏水が激しい。

(2) カフレイン地区

調査井は、道路沿いの3井は海水面下-152～-165m、ほかのワディカフレイン沿いの7井は-100～-51mに位置している。道路沿いの3井は汽水で湧水量は11～42 ℓ/s の範囲である。ワディカフレインはpH= 9.0、EC = 1,050 $\mu\text{v}/\text{cm}$ 、TDS = 672 mg/ ℓ を示す淡水であり、下流ダムに貯水されている。

これらの状況を図6-1及び表6-3に示す。

*この調査はWater Authority of Jordanの要請に基づくUNDP/DTCD Project JOR/97/003/の枠組みの中で、英国のHydrogeological Serviceが1991年にまとめたものである。

6-2 水質

6-2-1 汽水湧水の水質

ジョルダン渓谷の汽水湧水分布状況は、東部斜面の主に+100mから-200mに分布しており、全部で23か所、汽水湧水量の合計は21,068 MCM/Yrで、この水質はTDS表示で最高3,660 mg/ ℓ 、最低897 mg/ ℓ 、平均1,782 mg/ ℓ である。この状況を次の図及び表に示す。

6-2-2 地下汽水の水質と水質分析

ワディヒスパンの調査井の水質は弱酸性であり、その内容を表6-5「ヒスパンH-1、H-2の水質」に示す。この結果によれば、2井ともH₂Sを含んでおり、観測期間16か月の変化はTDS表示で、H-1は減少傾向、H-2ではやや増加の傾向を示す。

H-1 (1984.1.19) TDS = 4,600 mg/ℓ

→ (1985.4.28) TDS = 3,052 mg/ℓ

H-2 (1984.6.21) TDS = 3,795 mg/ℓ

→ (1985.4.28) TDS = 4,124 mg/ℓ

水質分析は、汽水淡水化計画の水源としての地下汽水及び地下水解析の基礎資料を得ることを目的として行うもので、後者は広範囲の地下水、湧水及び表流水について実施するものである。

既存資料の地下汽水是表6-4の分析結果に示すように鉄分は測定していないが、現状の湧水周辺の状況からみて、鉄分の含有率が無視できないと思われる。また、現地踏査でH₂Sと思われる匂い及びガスの放出を確認した。なお、表6-4からみても、全般的に組成の経時変化がかなりあるものとする。

ほかに、ジョルダンの Water Authority 発行の "Groundwater Quality Data in Jordan, Technical Paper No53 (1987)" を入手している。しかし、かかる分析値は一般的な項目のみであり、淡水化の方式(プロセス)にもよるが、淡水化計画用のデータとしてはかなり不十分である(例えば、鉄分・懸濁物など)。

したがって、本格調査では、候補地と数箇所の汽水について約1年間にわたり定期的に、より詳細なデータを取得し、各成分の変化の度合いを含め、調査することが是非とも必要である。

この分析作業について、ジョルダンの研究機関 RRS (Royal Scientific Society) に委託できることが確認できた。RRSは国立の総合的な工業技術研究センターであり、ジョルダンでは権威のある機関とされている。

淡水化プラントの計画及び地下水解析に必要な測定及び分析項目は、次のとおりである。

温度・pH・電気伝導率・TDS・濁度・Na・K・Ca・Mg・Fe・Mn・NH₄・Al・CaCO₃・Cl・SO₄・HCO₃・CO₃・NO₃・NO₂・SiO₂・有機分・懸濁物質・H₂S・一般細菌・大腸菌

このほか、飲料水の水源としての分析項目として以下の項目を加える。

Pb・Se・As・Cr・CN・Cd・Hg・Sb・Ag・Cu・Zn・Ni・F

さらに、地下水解析の資料として、上記の項目に年代測定を加える。

試験井の金属類の分析については、最初、中間、最後の3回の分析とする。

なお、上記のほかにSDI (Silt Density Index) の測定がある。これは汚れ指数 (FI 値 : Fouling Index) とも呼ばれ、逆浸透法モジュールの給水中に存在する極微量の濁物質の多寡を表わす指標で、一般には濾過した後のRO給水の測定項目となっている。したがって、今回の汽水そのものの測定として欠かせないものとはいえないが、汽水の汚れ度を判断する一つのデータとはなりうる。RSSは、このSDIの測定器具を有していないので、測定を依頼する場合は、測定器具を日本より搬入し測定マニュアルを提出し、RSSに依頼することになる。

6-2-3 水質基準

ジョルダン国の「Drinking Water」水質基準と工業用水水質基準を附属資料に示す。

図6-3「水質調査図」に、現地踏査による水質（表流水、調査井）の調査結果を示す。

表 6 - 1 簡易地質層序表

(Paker, 1970)

ERA	PERIOD	EPOCH	GROUP	FORMATION		
CENOZOIC	Quaternary	Holocene	Fluviatile, Lacustrine and eolian mantle rocks		M	
		Pleistocene		Jafr = Azraq	Ja Az	
			Volcanics	Basalts		V
	Tertiary	Pliocene		Sirhan = Dana		Si Da
		Miocene				
		Oligocene	Volcanics	Basalts		V
		Eocene		Wadi Shallald		B5
		Palaeocene		Rijam		B4
	MESOZOIC	Upper Cretaceous	Maestrichtian	Belqa	Muwaqqar	B3
			Campanian		Amman	B2
Santonian				Wadi Ghudran	B1	
Turonian				Wadi Sir A7	Fassua A	
Cenomanian			Ajlun	Shueib A5-6		
			Hummar A4			
		Fuheis A3				
		Naur A1-2				
Lower Cretaceous		Albian		Subeihi	K2	
		Aptian	Kurnub	Ardaa	K1	
	Neocomian					
Jurassic		Zerqa	Azab	Z2		
	Triassic		Main	Z1		
PALEOZOIC	Permian					
	Carboniferous			Cb		
	Devonian					
	Silurian	Khreim		Kh		
	Ordovician					
	Cambrian	Disi		D		
PRECAMBRIAN	Late Precambrian		Saramuj	S		
	Early Precambrian		Basement Complex		Bc	

表 6 - 2 地層の水利地質的簡易分類表

Geological Formation or Group	Hydrogeological Classification	Lithology	Saturated Thickness (m)
Mio-Plio-Quaternary	Aquifer / aquiclude	Sands / limestones / clays / conglomerates	10 - 400
Basalt (Ba)	Aquifer	Basaltic lavas	5 - 100
Rijam (B4)	Aquifer	Limestone	15 - 40
Muwaqqar (B3)	Aquiclude	Marl	50 - 400
Amman-Wadi Sir (B2-A7)	Aquifer	Limestone / chert	50 - 350
Ajlun (A1-6)	Aquiclude	Marl / shale / limestone	200 - 600
Hummar (A4)	Locally aquifer	Dolomitic limestone	40 - 45
Lr Ajlun (A1-6) (South Jordan)	Aquifer	Sandy limestone / sandstone	120
Kurnub (K)	Aquifer	Sandstone	50 - 300
Zerqa (Z)	Aquifer	Limestone / marl / dolomitic limestone	50 - 500
Khreim (Kh)	Aquiclude / aquitard	Shale / sandstone	200 - 1,500
Disi (D)	Aquifer	Sandstone	400 - 3,000
Pre-Cambrian Basement	Aquifuge	Granites	-

Note : Saturated thicknesses refers to aquifers only; range of thicknesses indicative.

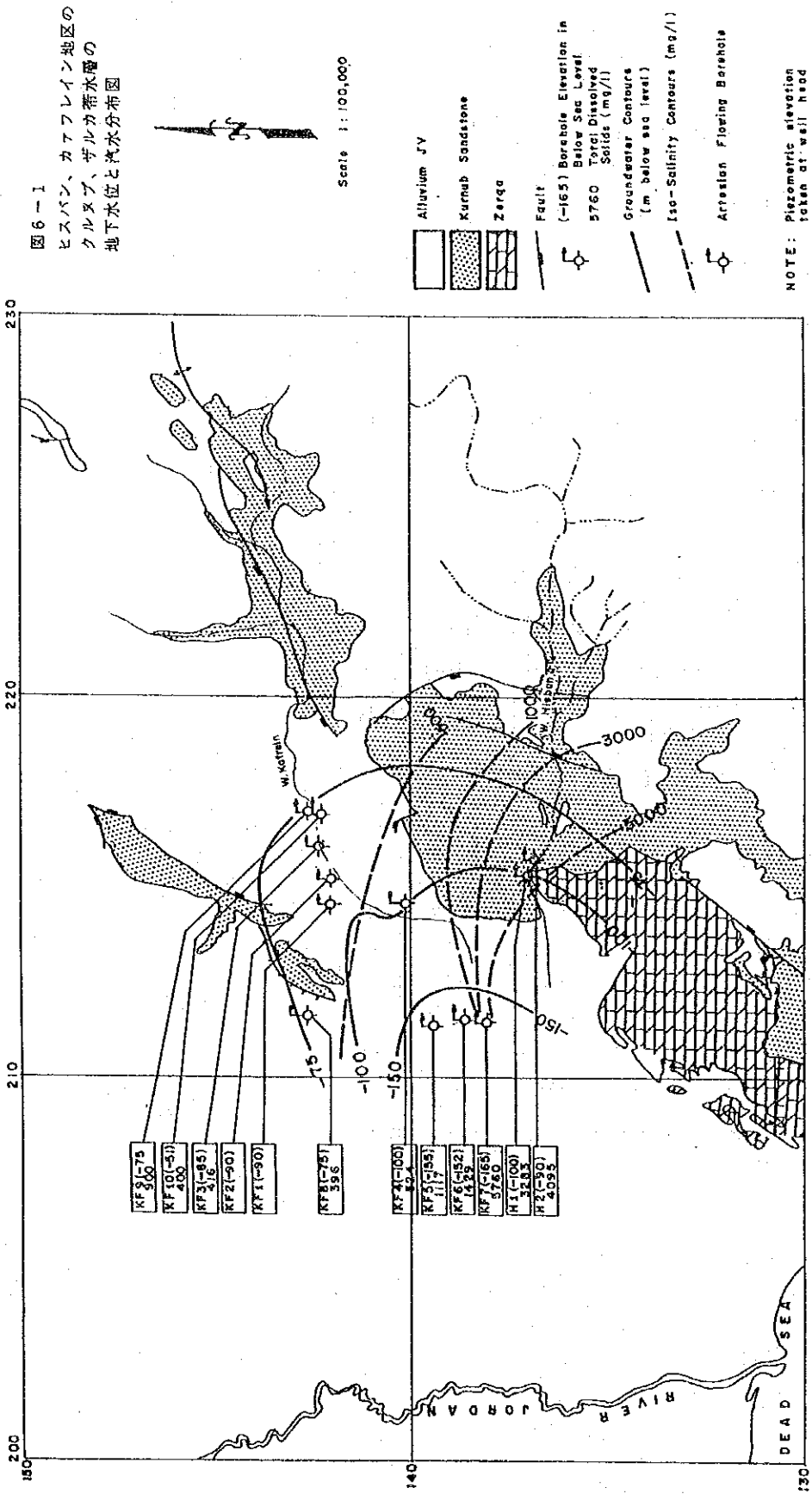


图6-1
 ヒスバイン、カアアラレイン地区の
 クルヌブ、ザルカ帯水層の
 地下水位と汽水分布図

NOTE: Piezometric elevation
 taken at well head

表 6-3 ヒスバン、カフレインの調査井の内容

Item Well No.	Total Depth (m)	Aquifer (m)	Lithology			Head of Water (m agl)	Yield (l/s)	Drawdown (m)	Pumping Test I (l/s) 1984.1.23 → 1984.2.15	Pumping II (l/s) 1984.9
			Dolomite (m)	Sandstone (m)	Shale (m)					
Hisban 1	169	118	113	5	-	45	508	571 → 495 *	69 *	
2	247	107	70	37	61		556			
Kaffrein 6	350	152	87	65	70		14			
7	208	180	180	-	54		42			
Kaffrein 1	324						-			
2	561						167			
3	583						-			
4	550						111			
5	370						11			
8	475						110			
9	213						44	78		
10	390						42			

*) 30m以深観孔のため、低下は孔壁崩壊による。

表 6 - 4 ヒスバン H - 1、H - 2 の水質

(mg/l)

	Hisban H-1						Hisban H-2	
	1984.1.19	2.23	6.21	8.21	9.1	1985.4.28	1984.6.21	1985.4.28
EC	7,200	5,050	4,700	4,400	4,500	-	5,930	-
TDS	4,600	3,232	3,008	2,816	2,880	3,052	3,795	4,124
pH	6.72	-	6.78	6.48	6.62	6.75	7.18	6.63
Ca	345	-	238	243	257	258	208	303
Mg	113	-	79	74	87	90	82	123
Na	1,014	-	678	648	600	-	899	-
K	137	-	102	102	106	-	110	-
Cl	1,799	-	998	656	1,010	1,071	1,267	1,563
SO ₄	230	-	292	339	345	-	318	-
CO ₃	-	-	-	-	-	0	0	0
HCO ₃	1,124	-	840	824	805	856	607	991
NO ₃	2.83	-	2.40	0.35	2.30	-	3.40	-
H ₂ S	-	-	-	-	-	1.6	-	1.6

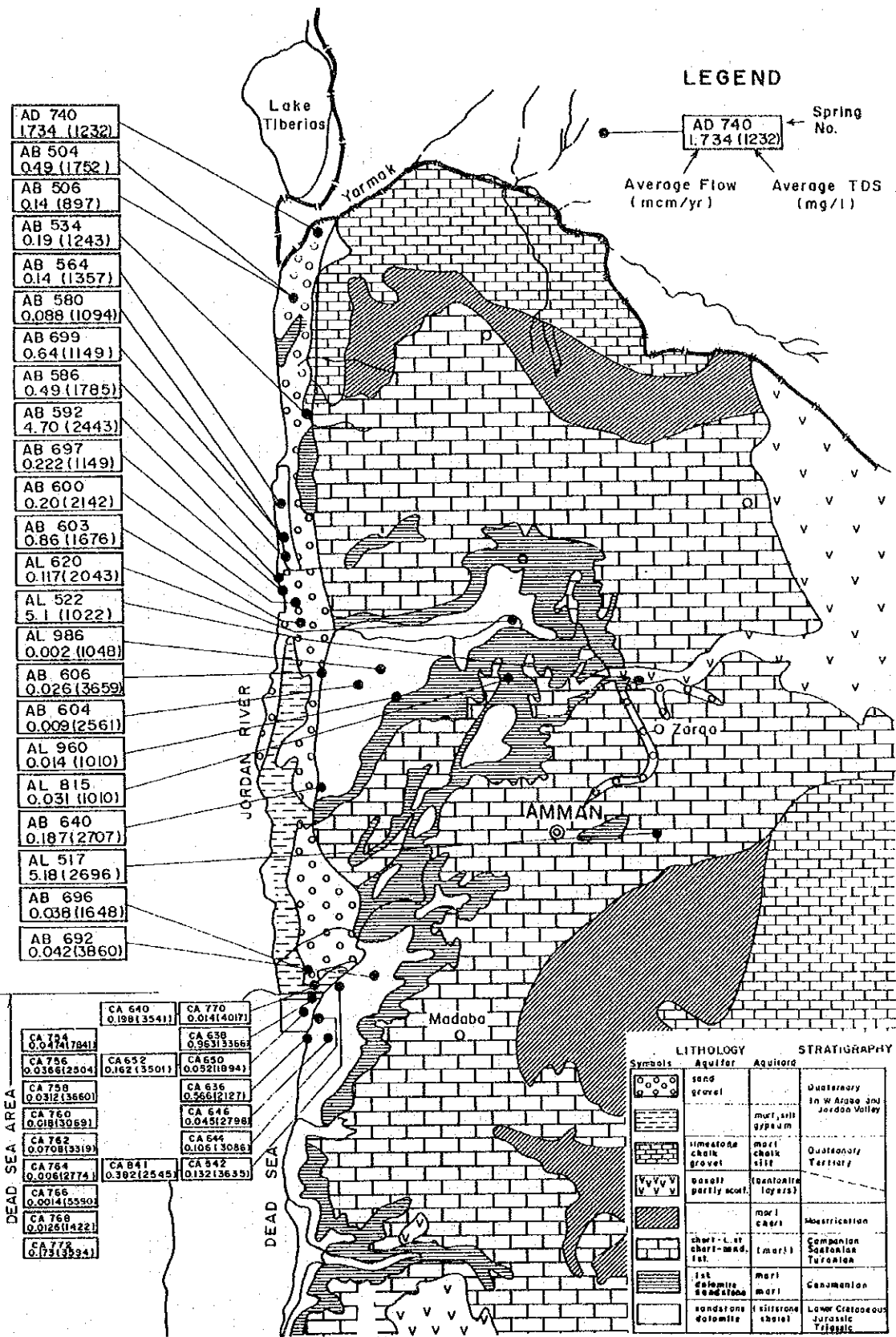


図 6-2 ジョルダン溪谷の湧水分布図

表 6-5 ジョルダン溪谷の汽水湧水の水質

Site No.	Average Flow (MCM/Yr)	EC (μ mhos/cm)	TDS (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	CO3 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	pH
AD 740	1.734	2,018	1,232	107.7	126.0	200.3	7.4	386.8	189.2	0.6	364.0	25.7	7.52
AB 504	0.490	3,060	1,752	202.7	293.3	242.8	15.5	404.0	829.1	3.8	420.9	28.2	7.50
AB 506	0.140	1,392	897	109.6	123.6	70.6	3.9	146.7	196.7	1.5	385.5	25.4	7.18
AB 534	0.190	1,942	1,243	141.0	134.7	160.5	13.3	315.0	213.6	21.7	402.6	2.4	7.37
AB 564	0.140	2,146	1,357	168.2	192.2	147.5	19.4	224.7	441.5	5.4	404.8	70.4	7.67
AB 580	0.086	1,710	1,094	106.4	130.2	133.7	11.1	203.8	209.3	3.3	401.4	41.7	7.99
AB 699	0.640	1,796	1,149	116.8	157.4	95.0	12.6	198.9	332.3	0.0	374.9	55.5	7.89
AB 586	0.940	2,789	1,785	164.2	190.4	235.8	21.7	461.6	440.9	0.4	375.3	58.7	7.69
AB 592	4.700	3,271	2,443	165.5	139.7	326.3	129.4	838.4	84.8	8.8	337.9	33.4	7.24
AB 697	0.222	2,061	1,149	134.3	158.0	141.6	14.9	248.2	378.9	0.0	395.9	58.9	7.68
AB 600	0.200	3,413	2,142	146.1	112.6	338.9	71.9	667.0	383.0	13.8	455.2	25.5	6.98
AB 603	0.860	2,613	1,676	109.1	186.1	209.8	20.2	389.8	338.8	0.0	496.3	109.3	7.67
AL 620	0.117	3,192	2,043	256.5	221.9	321.1	39.4	486.7	650.0	0.0	442.1	2.9	7.02
AL 522	5.100	1,646	1,022	96.5	102.4	161.0	6.2	310.4	139.1	0.8	258.8	27.5	7.68
AL 986	0.002	1,634	1,048	130.0	132.2	89.4	4.2	306.1	48.8	0.0	290.6	90.3	7.75
AB 606	0.026	5,718	3,659	244.3	352.6	654.4	48.6	1,268.1	780.2	0.0	557.1	13.5	7.53
AB 604	0.009	4,001	2,561	309.6	403.8	359.4	30.6	611.6	1,297.9	0.0	382.4	2.3	7.65
AL 960	0.014	1,734	1,010	94.7	152.4	125.4	2.6	280.4	155.4	3.1	355.2	39.4	7.82
AL 815	0.031	1,578	1,010	83.1	110.8	110.6	13.3	249.2	118.1	1.1	239.7	132.6	7.93
AB 640	0.187	6,230	2,707	227.3	291.8	382.4	29.3	737.1	887.5	0.0	299.8	45.8	7.77
AL 517	5.160	4,213	2,696	209.4	250.4	515.3	47.6	826.2	498.0	0.0	511.2	175.6	7.25
AB 696	0.038	2,575	1,648	145.9	178.3	251.8	40.7	517.0	189.7	0.0	475.9	22.2	7.90
AB 692	0.042	6,030	3,660	183.3	273.2	744.8	418.0	1,394.1	596.7	32.2	375.8	9.3	7.82
平均	21,068	2,903	1,782	158.8	191.9	262.5	44.4	498.8	408.7	4.2	388.4	47.7	7.59
	(計)												

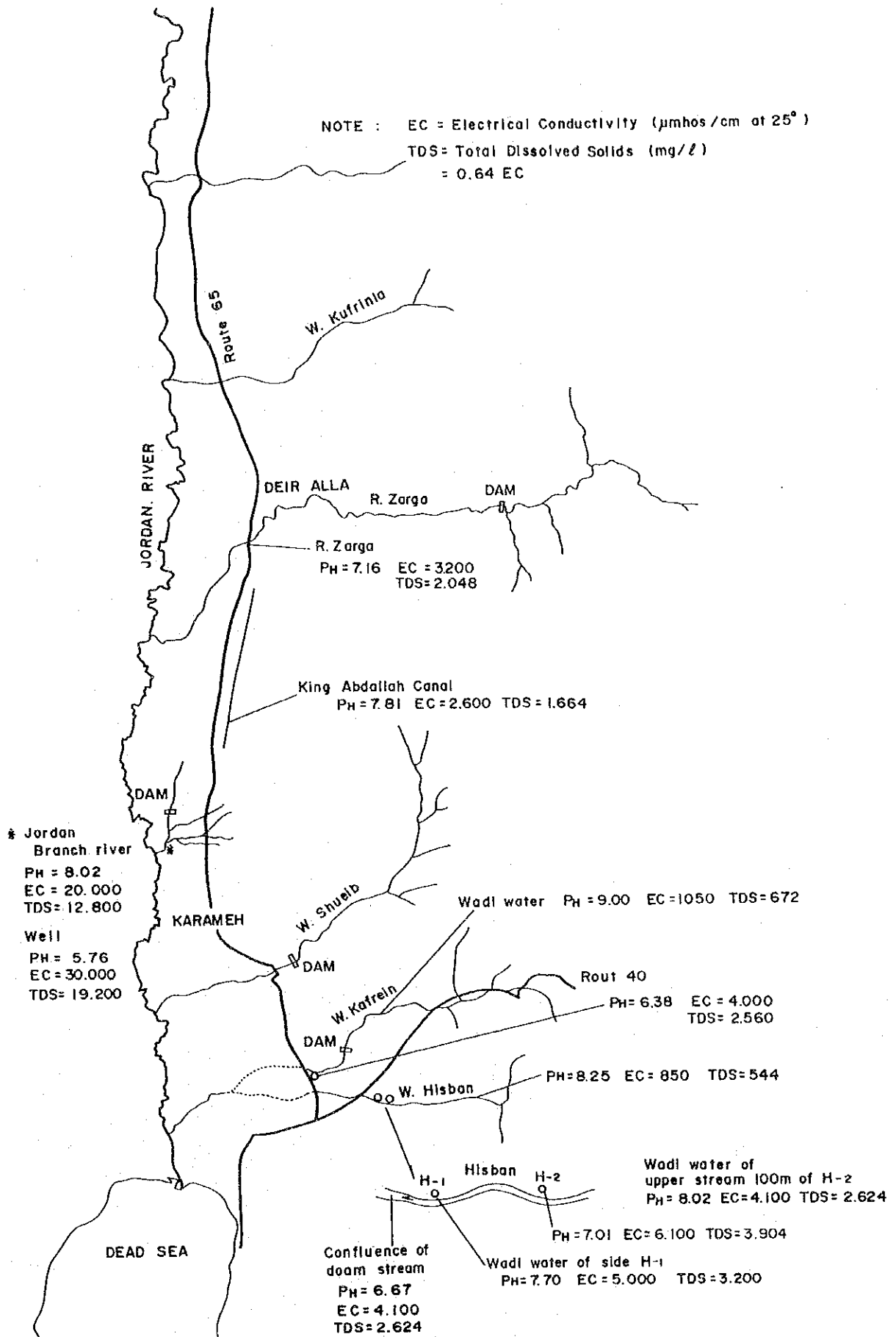


図 6-3 水質調査図

6-3 水資源開発状況

地下水の利用状況（ジョルダン溪谷）

6-3-1 地下水水

(1) 淡水地下水水源

ジョルダン溪谷の地下水許容揚水量は54MCM/年と見積られ（National Resources in Jordan 1989）、地下水源として次のものが知られている。

第四系帯水層 : ジョルダン溪谷平野部には160本の私設井があり、大部分淡水とみられる。1井当たりの揚水量は少ない。

上部白亜系石灰岩類帯水層 : ジョルダン溪谷東部山地に水井戸を散見する。

下部白亜系砂岩帯水層 : ジョルダン溪谷東部山地に分布する。井戸1本当たり揚水量は5~25ℓ/sとみられる。

ジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層 : カフレイン地区に7孔調査井あり。揚水量は2孔110~167ℓ/s、2孔42~44ℓ/sと大きな値を示す。

(2) 汽水地下水水源

賦存量に関する資料は、ヒスバン地域ザルカ層群帯水層のみである（8MCM/年）。

第四系帯水層 : ジョルダン溪谷平野部に設けられた160本の私設井のうち、一部は汽水とみられる。塩分を含む帯水層は2種に区分され、扇状地砂礫のものはTDS 1,000~4,000mg/ℓ、低揚水量とみられ、これに対し、砂深下の泥質層主体のものは高塩分で低揚水量を示す。

下部白亜系砂岩帯水層 : ジョルダン溪谷湧泉または水井戸で汽水を示すものの、一部は本層汽水の第四系帯水層への浸水を示すとみられている。仮に、井戸を設置した場合、1本当たり揚水量は5~25ℓ/sとみられる。

ジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層 : ヒスバン地域では長期揚水試験結果に基づき8MCM/年の汽水揚水が可能とされ、追加調査による増量が見込まれている。

6-3-2 地下水需要

(1) 深水地下水需要

ジョルダン溪谷水需要のうち、灌漑用水は河川水により賄われており、地下水は生活用

水供給源となっている。需要量は、1993年10MCM/年、2010年12MCM/年と見込まれる。

(2) 汽水地下水需要

今のところ、国家の給水計画に組み込まれた汽水利用計画はない。

6-3-3 地下水の利用状況

(1) 淡水地下水利用状況

ジョルダン溪谷の生活用水は、主として淡水地下水に依存し、主たるものは第四系帯水層及びザルカ層群石灰岩類帯水層である。

第四系帯水層 : ジョルダン溪谷の160本の私設井の大部分は淡水とみられ、集落給水に利用されている。

カフレイン地域ザルカ層群石灰岩類帯水層 : 167 ℓ /s (5 MCM/年)を示す自噴井より集落給水に利用されている。

(2) 汽水地下水利用状況

低塩分汽水の灌漑用水利用が予想されるが、資料を欠く。

6-3-4 現況給水施設

アンマン市などの都市部では、給水施設は各戸給水が行われている。しかし、各地から送水している源水の絶対量が需要量を賄えないため、給水の圧力不足や時間給水などが生じている。このため、各戸ごとに1 m^3 単位の給水槽を設置し対応している。このほかにも地下貯水槽を設置している一般住宅がある。

ジョルダン溪谷では、都市部(デイル・アラ)で集中した給水施設がみられるが、その他の小集落では地下水を利用した小規模な各戸給水施設で給水している。

デイル・アラには、キングアブドゥラ用水路の流水をアンマン市に送水する45MCMの容量をもつポンプ場が設置されている。この施設はオープン水路をパイプライン化することによる送水ロスの減少と作物の変更など農業用水の合理化を行うことにより300MCM/YEARの農業用水の中から15% (45MCM/YEAR) を飲料水に転用し送水するもので、現在進行中の農業用水合理化計画(南・北ゴール計画)の完成によって毎年45MCMの飲料水をアンマン市へ送水する。

6-4 地下汽水開発の可能性（ジョルダン溪谷）

6-4-1 地下汽水水源

(1) ヒスパン・カフレイン地域のジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層

この地域では5 km×5 kmの区画に12孔の調査井が実施されており、このうち5孔で汽水が確認されている。揚水試験結果に基づく推計では8 MCM/年の開発が可能と見積られている。追加調査による開発量増加も予測されている。

(2) デイル・アラ カラマ地域のジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層

当地域東部山地にはザルカ層群が広い分布を示すが、汽水に関する調査はほとんど実施されておらず、汽水賦存状況は不明である。同層群及び上位の下部白亜系砂岩は、汽水地下水源発見の可能性をもつ。

(3) ジョルダン溪谷平野部の第四系帯水層

当地域には160孔の私設井があり、その一部は汽水とみられる。水井戸資料はジョルダン国政府データベースにインプットされている（データは未入手である）。

6-4-2 地下汽水の水質

(1) ヒスパン・カフレイン地域のジュラ系ザルカ層石灰岩類帯水層の水質

水質は南方または南東方に増加する傾向を示し、汽水域ではTDS 1,100 mg/ℓより5,800 mg/ℓまで変化する。一方、長期の湧水状況をヒスパンのHI井戸でみると、当初TDS 4,600 mg/ℓを示していたものが3,000 mg/ℓへと著しい低下を示している。これは、揚水による淡水の混入を示すとみられる。

(2) デイル・アラ カラマ地域のジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層の水質

未調査地域のため、水質データを欠く。

(3) ジョルダン溪谷平野部の第四系帯水層

当地域には2種の帯水層がみられ、その中に扇状地砂礫は500～4,000 mg/ℓのTDSを示すのに対し、下位に分布する泥質物主体の層では高塩分となり、デイル・アラ西方の例では19,200 mg/ℓにも達する。

6-4-3 地下汽水水需要

ジョルダン国の国家給水計画に組み込まれた当地域の汽水淡水化計画はないが、将来、淡

水水源の涸渇に伴う新規水源としてジョルダン溪谷地下汽水に対する用水需要が想定される。

6-4-4 地下汽水開発の可能性

(1) 開発候補地域

地下汽水淡水化のジョルダン溪谷における水源としては、次のものが候補として考えられる。

- 1) ヒスパン・カフレイン地域のジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層
- 2) デイル・アラ カラマ地域の同層群帯水層
- 3) ジョルダン溪谷平野部の第四系帯水層

(2) 地下汽水賦存量よりみた開発可能性

地下汽水開発可能量推計値は、ヒスパン・カフレイン地域で8 MCM/年と算定されている。他地域では開発可能量推計値を欠く。

(3) 地下汽水開発の可能性

地下汽水水源よりみた開発可能性を地域別に示す。

1) ヒスパン・カフレイン地域のジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層

開発可能量として年8 MCMの汽水揚水が推計されており、追加調査による増量が可能である。水質は3,000 mg/ℓ TDS程度とみられ、汽水淡水化を逆浸透膜で行った場合低圧操業が可能であり、コストを低減できる利点がある。

2) デイル・アラ カラマ地域のジュラ系ザルカ層群石灰岩類帯水層

対象層分布域が広く、大規模汽水水源発見の可能性はある、しかし、1井当たり揚水量500 ℓ/sといった大規模湧水に当たる確率は小さく、地下水源利用は5~25 ℓ/sといった中規模水井戸を多数設置する形となろう。なお、この地域は、ザルカ層群に加え、かぶり層となっている下部白亜系砂岩が汽水帯水層に加わっている可能性がある。水質はTDS値が比較的小さく、逆浸透膜法では低圧操業が可能とみられる。

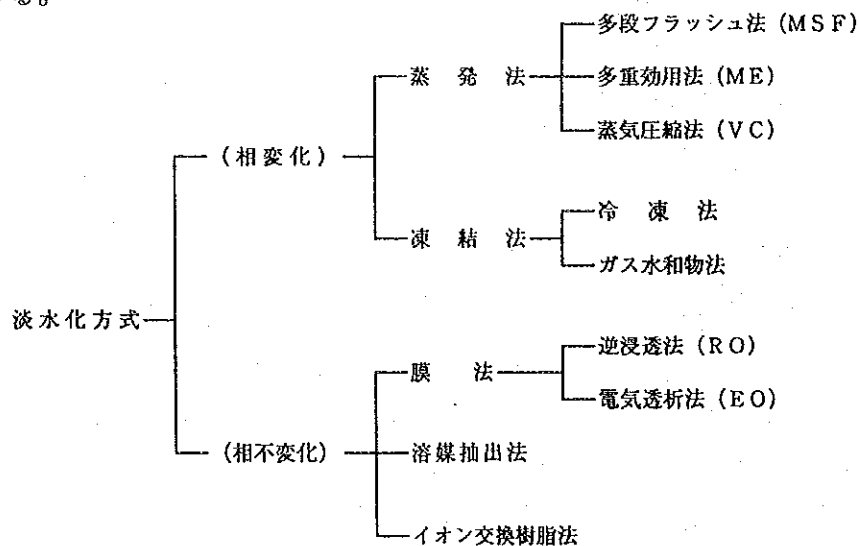
3) ジョルダン溪谷平野部の第四系帯水層

当地域の汽水帯層には2種考えられる。第1は先方四系帯水層よりの汽水浸出であり、第2は扇状地砂礫末端部における淡水域から汽水域への移行である。いずれも、汽水賦存量は小規模で、かつ、広域に散在することが予測される。水質はTDS 1,000~4,000 mg/ℓとみられ、逆浸透膜法であれば低圧操業が可能とみられる。給水コスト等の問題については別章で記述する。

第7章 地下汽水淡水化調査

7-1 淡水化方式の比較

淡水化の方式は、下記に示すように、蒸発法、冷凍法のように水の相変化（水から蒸発、氷への変化）を利用する方法と、逆浸透法、電気透析法のような特殊な膜の性質を利用する方法などに分類できる。また、淡水化に必要なエネルギーの使用形態からは、熱を利用する方法（蒸発法）、力を利用する方法（逆浸透法）、電位差を利用する方法（溶媒抽出法）などに分けることができる。



設備容量が 100 m³/日以上 of 方式別淡水化プラントの設置状況を表 7-2 に示す。これによると、方式別では総プラント基数の約 60% は逆浸透法であるが、総設備容量の 60% は蒸発法（主に MSF 法）である。

表 7-1 淡水化プラント方式別集計

方式	基数	%	容量 (× 10 ³ m ³ /日)	%
蒸発法	2,398	27	9,307	60
逆浸透法	5,146	58	5,080	33
その他	1,342	15	1,195	7
合計	8,886	100	15,582	100

表 7-2 に主要な淡水化方式の比較について述べる。

表 7 - 2 各種淡水化方式の比較

淡水化方法	逆浸透法	電気透析法	多段フラッシュ法	多重効用法
実績	かん水淡水化及び海水淡水化の稼働実績が非常に多い。大型の適用例も増えてきている。信頼性は向上している。	かん水淡水化の適用例は多いが、海水淡水化の実施例は少ない。	海水淡水化技術として最も早くから実用化された方法で、大規模なプラントに多く適用されている。	実績は未だ比較的小さい。
生産水質	膜の性能向上により、一段脱塩で海水から飲料水が得られる。	運転条件によって生産水濃度を変えられる。	蒸留水が得られる。	蒸留水が得られる。
経済性	エネルギー所要量が最も少ない淡水化方式である。大型プラントでは、濃縮排水の圧力エネルギーを回収することができ、一層の省エネルギーが図れる。	塩分濃度の薄いかん水の淡水化では、比較的エネルギー消費量が少ない。しかし、塩水濃度が上がると、電力消費量が著しく増加する。	蒸発潜熱以上エネルギーが必要なので、エネルギー消費量が大きい。発電所との組み合わせ、廃熱利用などで、エネルギーの有効利用を図る工夫が行われている。	多層積構造にすることにより、経済性の向上が図れる。その経済性は、膜法に比べて大きな遜色はない。
運転維持管理	高圧ポンプを駆動して、膜モジュールに高圧原水（かん水の場合 20～30 kg/cm ² 、海水の場合 50～70 kg/cm ² ）を供給して淡水化を行う。原水の濾過及び薬品の注入による原水水質調整、膜モジュールの洗浄・交換が必要である。	電気透析槽に原水を供給し直接電極を付加して、原水中のイオンを分解除去する。原水の濾過及び薬品の注入による原水水質調整、膜モジュールの洗浄・交換が必要である。	ボイラーまたは蒸気タービン抽気から加熱器に水蒸気を供給し、原水 90～120℃ に加熱して蒸気缶内で蒸留する。蒸気缶内は蒸気エゼクターにより減圧される。温度、真空度及び缶内液レベルの調整、原水の脱気及び薬品注入による水質調整、伝熱管の洗浄が必要である。	ボイラーまたは蒸気タービン抽気から加熱器に水蒸気を供給し、原水を加熱して高温度の蒸発室で蒸留する。その蒸留した蒸気は次段の加熱源となる。温度、真空度の調整、原水の脱気及び薬品注入による水質調整、伝熱管の洗浄が必要である。

7-2 汽水の淡水化方式選定に関して

汽水の淡水化方式選定に際しては、下記のような観点から検討する必要がある。

- (1) 汽水の水質（TDSのレベル）及び水質変動の程度
- (2) 生産水の用途と水質レベル
- (3) プラントサイト及び需要地への送水方法
- (4) ブライン（濃縮塩水）の排出方法
- (5) ユーティリティ（特に電力、蒸気）利用の難易度
- (6) 省エネルギー対応
- (7) 稼働実績及び技術的信頼性
- (8) 運転保守管理の容易さ
- (9) 大型化の対応

蒸発法（多段フラッシュ法）は、最も早くから実用化された方式で、発電所と組み合わせ、ボイラーまたは蒸気タービン抽気の蒸気を加熱源として大型の淡水化プラントとして多く採用されてきているが、今回の汽水の水質（TDS：3,000～6,000mg/ℓ程度）及び生活水水質（TDS：500mg/ℓ以下）の仕様に対しては、必要以上の純度の蒸留水を製造することになり、適しているとはいえない。エネルギー消費量が大きいくと、及び新たに蒸気源（ボイラー等）が必要なこと等、難点が多く、この汽水の淡水化としては、膜法が、より望ましいと思われる。

ジョルダンには原油を全量輸入に頼っておりエネルギーコストが高いため、淡水化方式の選定には省エネルギーが重要なファクターとなる。省エネルギーの観点からは、逆浸透法は、膜の性能向上により運転圧力が低く、脱塩動力量は大きく低減しており、他の方式に比べかなり優位性がある。また、数多くの長期にわたる安定した運転実績及び信頼性の向上、運転保守管理の容易さ、大型化が可能となっていることなどから、逆浸透法が有力な候補の一つとして挙げられると考える。

7-3 外部電源の利用について

淡水化プラントの操業時に必要となるユーティリティの中で最も重要なものが電源であり、外部電源の利用、特に高圧電源の利用可否はプラント計画操業の経済性に大きく影響する。調査の結果、三つの変電所からの高圧電源（33KV）の架線が、ジョルダン溪谷に沿って次のように南北に走っていることが判明した。