

ジョルダン・ハシェミット王国

企画省・水資源庁

エル・ジャファル水系地下水開発計画調査

最終報告書

要旨

平成2年3月

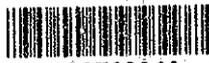
国際協力事業団

307
61.8
SSS

社調二

90-41

JICA LIBRARY



1082762[4]

21244

ジョルダン・ハシェミット王国

企画省・水資源庁

エル・ジャファル水系地下水開発計画調査

最終報告書

要旨

平成2年3月

国際協力事業団

国際協力事業団

21244

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、同国のエル・ジャファル水系地下水開発計画に係る開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、1988年7月より1990年1月まで日本工営株式会社一宮隆夫氏を団長とする調査団を現地に派遣した。

調査団は、ジョルダン国政府関係者と協議を行うとともに、プロジェクト・サイト調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

終りに、本件調査に御協力と御支援をいただいた両国の関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

1990年3月

国際協力事業団
総裁 柳谷謙介

伝達状

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介殿

エル・ジャファル水系地下水開発計画調査の最終報告書を提出致します。本報告書は、ジョルダン・ハシェミット王国政府が国家的開発目標に従って実施している水資源開発に寄与すべく、昭和63年7月4日に国際協力事業団と日本工営株式会社との間で締結された契約に基づいて結成された調査団によって作成されました。

報告書は3分冊より成り、第1冊は要旨で、調査結果の要点を取りまとめ、第2冊は主報告書で、表流水及び地下水の水資源開発ポテンシャルを総合的に調べ、その結果から有望な"バルカ・アジュール"及び"下部アジュール"各滞水層の開発計画につき検討した成果を含み、第3冊は各調査分野の成果を取りまとめたサポーティング・レポートです。

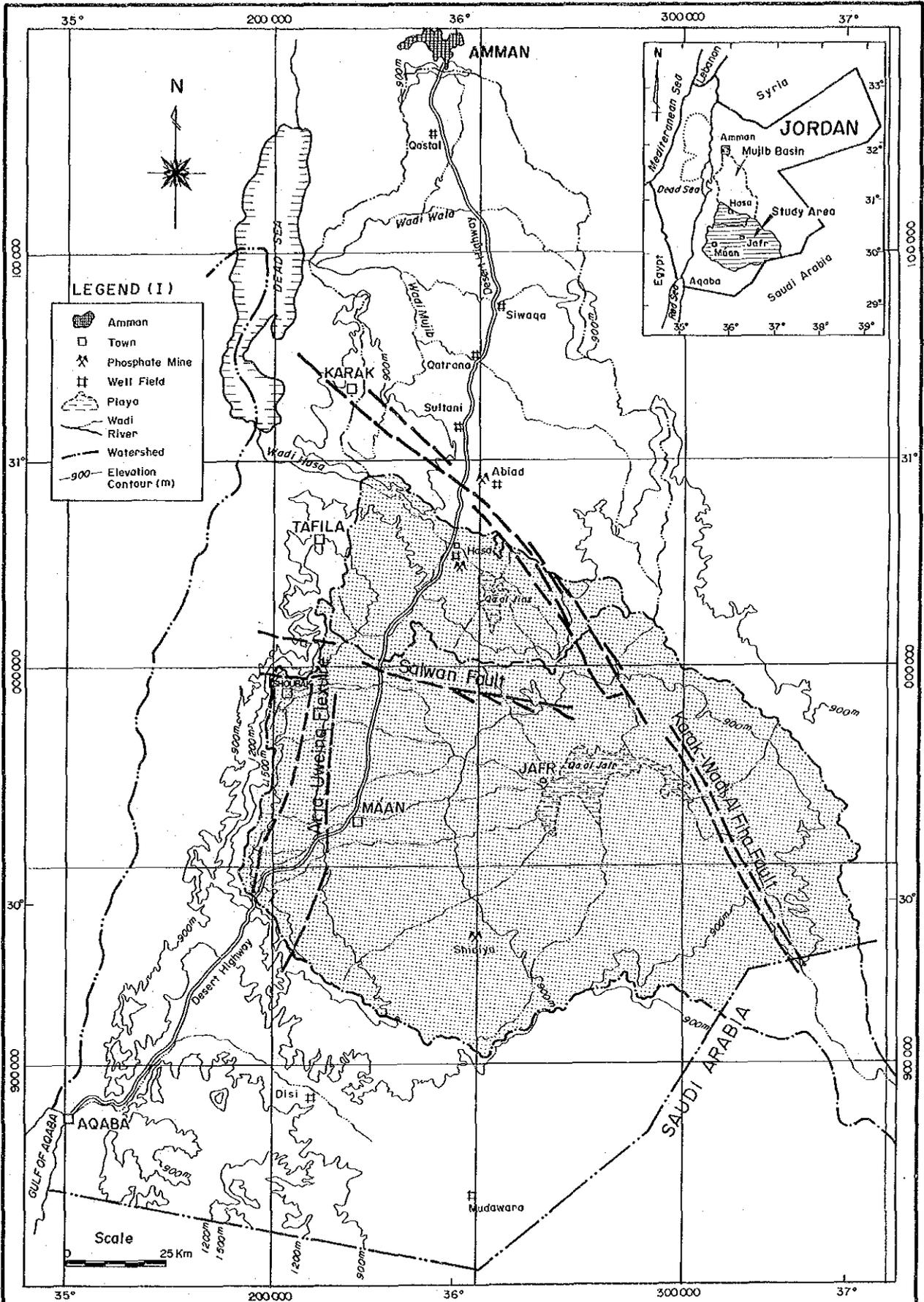
本調査の成果がジョルダン・ハシェミット王国における今後の水資源開発のために、また同国の社会経済開発と福祉のために活用されるならば、これに優る幸いはないと存する次第であります。

平成2年3月

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
計画調査団

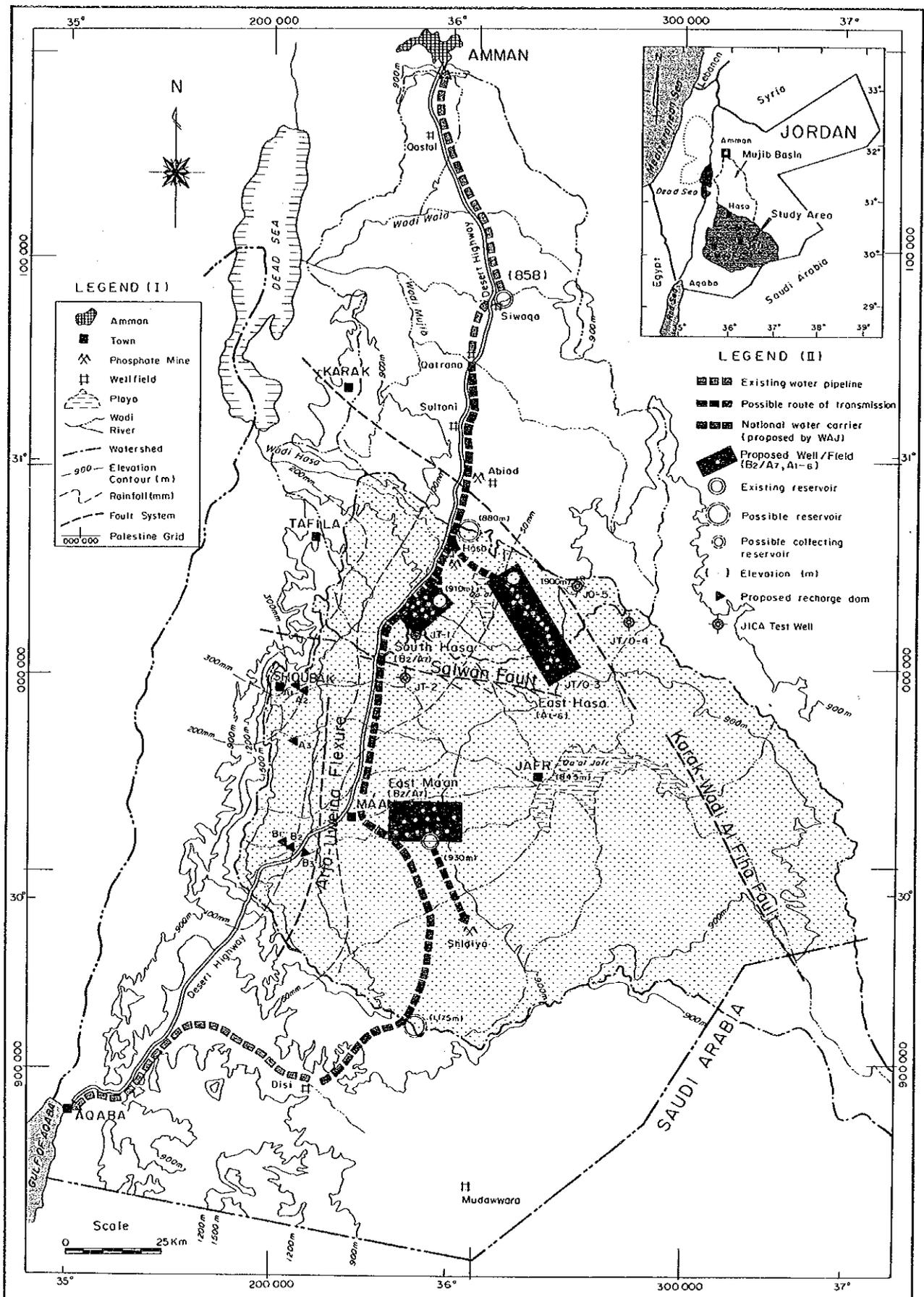
団長 一宮隆夫



位置図

THE HASHEMITE KINGDOM OF JORDAN
Water Resources Study of the Jafr Basin

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND (I)

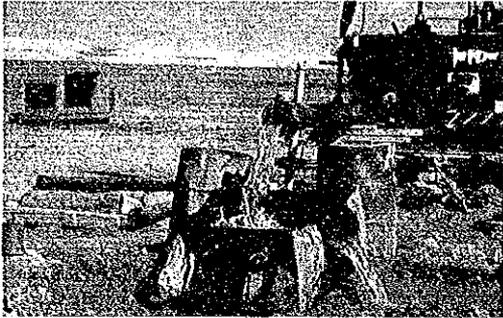
- Amman
- Town
- Phosphate Mine
- Wellfield
- Playa
- Wadi
- River
- Watershed
- Elevation Contour (m)
- Rainfall (mm)
- Fault System
- Palestine Grid

LEGEND (II)

- Existing water pipeline
- Possible route of transmission
- National water carrier (proposed by WAJ)
- Proposed Well/Field (B2/A7, A1-6)
- Existing reservoir
- Possible reservoir
- Possible collecting reservoir
- Elevation (m)
- Proposed recharge dam
- JICA Test Well

開発計画図

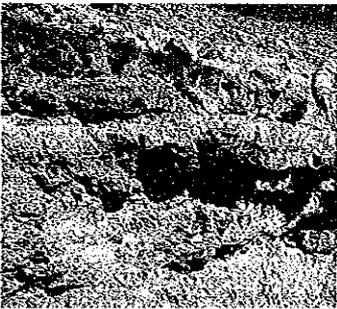
THE HASHEMITE KINGDOM OF JORDAN
 WATER RESOURCES STUDY OF THE JAFR BASIN
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



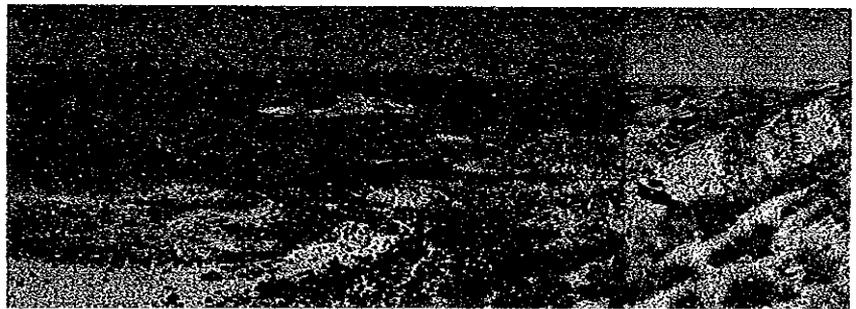
JT-3 揚水試験； 深部滞水層の下部アジュール (A 1-6)層から揚水された地下水の水質は極めて良好で T.D.S. は 330 mg/l のレベル。(1988年12月)



ハサ水系上流域； ハサ町より南方を望む。(1988年7月)



アンマン (B 2)層の露頭； 硅質石灰岩とチャート層の互層よりなる。節理、亀裂、及び断烈構造が発達、アルジャ近辺の露頭。(1988年12月)



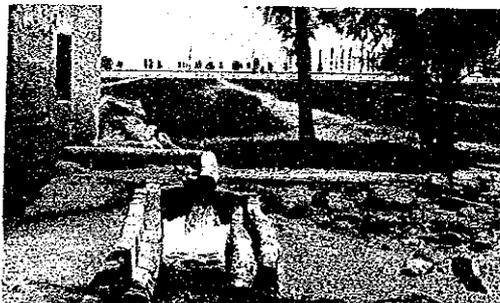
A-2 地下水涵養ダムサイト； ジャファル水系の西部高地北西部で透水性の高いアンマン (B 2)層がサイト近辺に露頭している。(1989年7月)



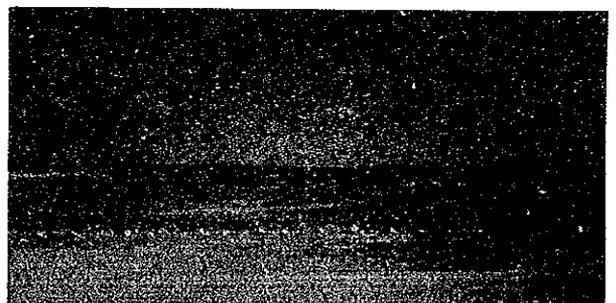
ワジ・ジュルダンの河道； デザート・ハイウェイ橋より西方/下流側を望む。(1988年7月)



西部高地の地下水涵養地域である山地部は1988年12月25日の大雪で白く覆われている。デザート・ハイウェイより西方を望む。(1988年12月)



アル・ジャファルにおける地下水灌漑； 浅層のリジャム (B 4)不圧滞水層から揚水しているが、過剰な灌漑による環流/浸透水により地下水の塩類集積問題が発生した。(1989年7月)



ブラヤ中央部のカ・アル・ジャファル； 閉鎖水系ワジの最末端流、アル・ジャファル町より10 Km 北東地点。(1988年10月)

要旨

A. 経緯

1. ジョルダン・ハシェミット王国は着実に国土の経済開発を進めている。しかしながら、常に貴重な水資源の開発・利用の限界が国土開発のための制約条件になってきている。水資源の開発には国を挙げて大きな努力を払い5ヶ年計画(1981-1985)では J. D. 2億5千万を国家予算の中から振り分けており、その額は全予算額の 1/6 に相当した。これらの努力は今後とも引き続き行われることになろう。

2. ジョルダン政府はジャファル及びハサ上流域の水資源開発調査の実施を日本政府に技術協力を要請した。日本政府はこの要請に応え国際協力事業団(JICA)が本調査を実施した。1988年2月に事前調査団を派遣し同2月25日にS/Wを締結した後、本格調査団を組織してジョルダン政府水資源庁(WAJ)との緊密な協力関係のもとに1988年7月に調査を開始した。

B. 現状

3. 地形 : ジャファル水系はジョルダン南部に位置する流域面積が13,500km²の乾燥地域で、全てのワディ(河川)は流域の中央にあるエル・ジャファル・プライアに流出する閉鎖水系である。標高は西部の高地で最高となり1,750 m であり、中央部のエル・ジャファル・プライアで最低となり850 m である。ハサ水系はジャファル水系の北に隣接し、流域面積はタヌール基準点で2,200km²である。ハサ川は最終的には死海に流れ込むが、今回の調査ではハサ川のハサ・タヌール地点にある流量観測所までが調査対象地域となっており、標高はハサ・タヌール地点にある流量観測所で400mであり、上流部の東部高地で最高1,250 m である。ハサ川の上流部にはエル・ジンズ・プライアがある。

(注) ワディ(英) : 降雨後のみに流出が発生する河川。

プライア(英) : 内陸の閉鎖流域に生じやすい浅い湖沼または乾固した湖盆で塩分に富む場合が多い。アラビヤ語では『カ』と言う。

4. 地質 : 地質はカンブリア紀から新生代にかけての堆積岩系で地層群はディン、クレイム、クルヌブ、アジュルン、ベルカ層からなる。古生代から下部中生代にかけての上部堆積層は主に砂岩系からなるが、上部中生代から新生代にかけての下部堆積層は石灰岩、砂岩、チャート、泥灰岩、頁岩の互層からなる。アジュルン層群は下部アジュルン(A1-6)層とワディ・シル(A7)層からなり、ベルカ層群はアンマン(B1/2)層、ムバカル(B3)層、リジャム(B4)層からなる。これらの

地層群は複数の連続性に乏しい断層群、カラク・ワディ・アル・フィハ断層、サルワン断層、アルジャ・ウベイナ構造帯により分断される。

5. 気候： 最低気温は1月に観測され、平均最低気温は最高がハサで3.9°C、最低がウドルで-2.6°Cである。最高気温は7月か8月に観測され、平均最高気温は最高がジャファルで35.5°C、最低がショバクで27.4°Cである。A級蒸発盆で観測される年蒸発量は最高がジャファルで4,200 mm、最低がショバクで1,800 mmである。

6. 降雨： 一年は10月から5月までの雨期と9月から4月までの乾期に分れる。雨期には雪も含めて、年降水量の95%以上の降水量がある。調査地域の年降水量は西部の高地で300mm以上、東部のエル・ジャファル・プライアで50mm以下である。平均年降水量はハサ水系で92mm、ジャファル水系で51mmである。降雨の雨域は一般に小さいのが特徴である。1966年3月11日にワディ・ジュルダンで発生した大洪水の際には、マアンで15分間に50mmの雨量を観測したのに対し、距離的に20kmしか離れていないサダカとバスタでは24時間に10mmの雨量を観測したにすぎないことがあった。

7. 流出： 年間を通じて観察できる基底流は皆無で、表面流出が生じるのは洪水中の数日間限定されることが多い。典型的な洪水流出の例は1966年3月11日にワディ・ジュルダンで発生した大洪水であろう。この洪水のピーク流量は120m³/secであり、10年確率洪水にほぼ等しいが継続時間は約10時間であった。調査地域の流出形態は地域の表土により二種類に別れるようである。非シルト質で透水性の低い表層土が多い西部の雨の多い高地では流出は降雨直後に発生することが多い。対照的にシルト質で透水性の高い表層土が多い東部の少雨地域では日雨量8mm以下の雨では表面流出は生じないと考えられる。1963/64年から1985/86年までの23年間についていえば、ハサ水系の平均年流出量並びに平均年流出率はそれぞれ13.8MCM, 6.8% でありジャファル水系の平均年流出量並びに平均年流出率はそれぞれ22.9MCM, 3.3%である。

8. 水文地質： 主要な滞水層はカンブリア紀から古第三紀にかけての砂質岩及び石灰質岩からなり、それらは"ディシ(D)"、"クルヌブ(K)"、"下部アジュルン(A1-6)"、"アンマン・ワディ・シル(B2/A7)"、"リジャム(B4)"と呼ばれている。今回はアジュルン層とベルカ層中のA1-6滞水層、B2/A7滞水層、B4滞水層を主要な調査の対象としている。これらA1-6、B2/A7の各滞水層は三つの主要な断裂地質構造群、カラク・ワディ・アル・フィハ断層、サルワン断層、アルジャ・ウベイナ構造帯により分断される。主要な滞水層であるB2/A7層は二つの断層群、サルワン断層、アルジャ・ウベイナ構造帯により分断される。一方、A1-6滞水層中の地下水流はサルワン断層以北のカラク・ワディ・アル・フィハ断層に挟まれる地域に集中している。浅層の不圧地下水滞水層であるB4層はジャファル盆地の中央低地部に分布し、そこでは年に

数度の頻度の洪水がワディ底に露出する B4 を通じて浸透する限定された地下水涵養を受ける。

9. 水質： B2/A7 層中の地下水の水質は優れており、T.D.S. は 300-700 ppm の間にあり飲料水の水質基準を満たしあらゆる用途に利用可能である。一方、ジャファル水系南部では T.D.S. は 1,000-3,000 ppm にも及ぶ。サルワン断層以北の A1-6 滞水層の地下水の水質は極めて良好であり、T.D.S. は 330 ppm と低い。ジャファル水系の中央部に位置するジャファルの集落では 1965 年以來、浅層のリジャム(B4)滞水層の不圧地下水を汲み上げて灌漑を実施してきた。1971 年頃から、過剰な灌漑排水の地下浸透によりリジャム(B4)滞水層の一部の井戸の塩水濃度が増加し、T.D.S は 350 ppm から 3,500 ppm まで上昇してそこでの地下水の利用は不可能となるに至った。

10. 水利用の現況： 調査対象地域内での水利用は B2/A7 滞水層中の地下水に依存しているが、浅層の不圧条件にある B4 滞水層から少量 (1.1 MCM/年) の地下水をくみあげそれをパイロット農場の灌漑に利用している。W A J の揚水統計調査によれば調査対象地域内における総揚水量は 18.4 MCM/年 と見積られている。その中には、最大の水利用者であるハサ隣鉱山(7.4 MCM/年)とシヨバク農業開発(3.3 MCM/年)を含んでいる。湧水は 0.75 MCM/年 が西部高地の村落で利用されている、しかしワディの表流水はまったく利用されていない。

C. 調査作業：

11. 作業計画： 今回の調査は一次から四次までの四段階のステージにわけ実施された。18ヶ月に及ぶ調査はヨルダン国で行われる現地調査とそれに引き続き日本で行われる解析作業がそれぞれ4段階の調査に分け実施された。

12. 第一次調査： 第一次調査は、インセプション・レポートを 1988 年 8 月に提出したことから本格的に始まった。第一次の現地調査と解析作業は 1988 年 7 月から 1989 年 3 月までの期間に実施された。それは以下の内容を含む。

- 資料収集； 地形・地質図、航空・衛星写真、水文地質図、土地利用図、人口統計、気象、河川流量、洪水流中の浮遊砂、土壌水分、井戸台帳、ボーリング、揚水試験、水質試験
- 地質及び水文地質踏査
- V L F 法による電磁探査
- 試験井戸掘削 (7 本、計 2,940 m)
- 地下水モニタリング
- 地下水涵養ダムの地形図作成

- 一 タンク・モデル法による流出解析
- 一 確率洪水解析
- 一 堆砂量解析
- 一 表流水・水文セミナー（水文データベース）
- 一 プロGRESS・レポートの提出（1989年3月）

13. 第二次調査： 第二次調査はPROGRESS・レポートを協議することに始まる。B2/A7, 及びA1-6の両地下水シミュレーション・モデルを策定するため水文地質解析が進められ、同時に有限要素法（FEM）によるコンピューター・プログラム UNISSF がW A Jのコンピューター VAX-8200に移転された。第二次の現地調査と解析作業は1989年5月から1989年9月までの期間に実施された。それは以下の内容を含む。

- 一 地下水解析プログラム UNISSF をW A Jのコンピューター VAX-8200に移殖。
- 一 水文地質解析
- 一 地下水モデリング
- 一 第一回地下水モデル・シミュレーション・セミナー開催
- 一 B2/A7 及び A1-6 地下水モデルの定常キャリブレーション
- 一 B2/A7 地下水モデルの非定常キャリブレーション
- 一 地下水の開発代替案に関するシミュレーション
- 一 タンク・モデル法による塩分・収支シミュレーション
- 一 インテリム・レポートの提出（1989年10月）

14. 第三次調査： 第三次調査はインテリム・レポートを協議することに始まる。水資源開発計画の代案、地下水モニタリング、及び地下水モデリングについて検討を進めた。第三次の現地調査と解析作業は1989年10月から1990年1月までの期間に実施された。それは以下の内容を含む。

- 一 第二回地下水モデル・シミュレーション・セミナー開催
- 一 コンピューター・プロッター、CALCOMP-1025のインストール
- 一 選定された水源計画代替案に対する概念設計と概略費用算定
- 一 水需要及び地下水モデル将来予測
- 一 開発計画代替案検討
- 一 地下水モニタリング計画検討
- 一 ドラフト・ファイナル・レポートの提出（1990年1月）

15. 第四次調査： ドラフト・ファイナル・レポートにつき協議された。第三回地下水シミュレーション・セミナーでは、シミュレーション技術の移転が行われた。その後、ジョルダン政府側のコメントにつき検討を加えファイナル・レポートが作成された。

D. 水資源開発計画

16. 貯留ダム : 貯留ダムの既存調査としては本調査地域の西部地域に関しジョルダン政府のWAJにより実施されたものがある。この調査の最終報告書は1988年10月に出された。貯留ダムの目的は灌漑用水、家畜、飲料水並びにシディヤ鉱山への用水の供給である。

17. 地下水涵養ダム : 本調査地域の西部の多雨地域にB2/A7滞水層の涵養を目的とした地下水涵養ダムを当初8カ所に計画した。8カ所のうち南部に位置する2カ所の地下水涵養ダム(C群)は、その後効率が低いと判断されたためその後の調査から除外した。6カ所の地下水涵養ダムのうち、2カ所の地下水涵養ダムはジョルダン政府のWAJにより調査された前出の貯留ダムの集水域に上流で隣接した集水域に位置している。今回、この2カ所の貯留ダムの集水量を少しでも高めるため、上流に計画された地下水涵養ダムの余水吐きからの余水は下流の貯留ダムの集水域に転流されるよう計画した。23年間の流入量データを用いて決めた6カ所の地下水涵養ダムの集水面積、平均年流入量、最大年流入量、総貯水池容量、有効貯水池容量並びにダム高は以下の通りである。

地下水涵養 ダム	集水面積 (km ²)	平均年 流入量 [注1] (MCM)	最大年 流入量 [注2] (MCM)	総貯水 池容量 [注3] (MCM)	有効貯水 池容量 (MCM)	ダム高 (m)	優先度 [注4]
A 1	34.3	1.5	5.6	3.7	3.2	19	C
A 2	32.2	1.9	9.1	6.0	5.3	18	A
A 3	31.1	2.0	12.0	8.5	7.8	39	B
B 1	55.7	0.8	3.6	2.4	2.1	20	A
B 2	135.9	1.6	8.9	4.2	3.7	19	C
B 3	71.7	0.9	4.8	2.0	1.7	10	A

[注1] 23年間の平均値

[注2] 23年間の最大値

[注3] 50年間の堆砂量を含む。

[注4] 環境問題(補償)と建設費に着目し、Aは特に問題がない、Bはハイダムとなり費用効果にチェックの要あり、Cは幹線道路の移転等の難しい問題を含む。

18. A1-6層の地下水開発 : 被圧状態にある下部アジュルン(A1-6)層中の

地下水は未利用のままであるが、サルワン断層の北部ではこの滞水層は非常に有望と予測される。地下水の水質も良好で T.D.S.は 350 ppm 以下であり、いかなる用途にも利用され得ることが予測される。デザート・ハイウエーのハサ町から南方に 40 Km の距離に位置する”東ハサ井戸群”がシミュレーション・モデルに組み入れられた。地下水のポテンシャルは予備的なシミュレーション解析から 5 - 10 MCM/年と算定されている。

19. B2/A7 層の地下水開発： B2/A7層中の地下水は西部高地及びハサ嶺鉦山で開発されている。デザート・ハイウエーの東部では滞水層は被圧されているが未開発である。モデル・シミュレーション解析から地域及び国レベルの水需要増に対応すべく2つの井戸群、すなわち”東マアン”及び”南ハサ”が選定された。東マアン井戸群はシディヤ鉦山予定地より北方に約 20 Km の距離にあり、深度 250 m の井戸を10 - 20 本建設することにより 5 - 10 MCM/年の地下水開発が可能と算定されている。南ハサ井戸群はハサ町より南方に約 10 Km の距離にあり、深度 350 m の井戸を10 - 20 本建設することにより 5 - 10 MCM/年の地下水開発が可能と算定されている。両井戸群はデザート・ハイウエー沿いの路線が予定されている全国縦貫水パイプライン(”ディシ” - ”ムダワラ” - ”アンマン”)より 1 - 15 Km の距離に位置している。

20. B4 層の地下水開発： ジャファル水系の中央にあるジャファルの集落では1965年以来、リジャム(B4)滞水層の自由地下水を汲み上げて灌漑を実施してきた。1971年頃から、灌漑地域に掘られたリジャム(B4)滞水層の井戸の塩水濃度が増加し灌漑用水としては適さなくなった。この期間に取水量は 2 MCM/年 から 1.1 MCM/年まで下げざるをえなかった。B4 層の地下水は年に数度の頻度の洪水がワディ底に露出する B4 層の露頭を通じて浸透するわずか 2 MCM/年以下の涵養に依存している。今回の調査では、灌漑用水と毎年灌漑の始まる前に塩分を取り除くために散布される水(溶脱用水)に含まれる塩分が長年にわたってリジャム(B4)滞水層に集積したと想定して塩水化の収支解析をタンクモデル法を用いて実施した。このタンクモデルで塩水濃度の低い隣接したリジャム(B4)滞水層中の地下水流の移流による塩水化地域への希釈効果を考慮する。この場合には、1983年からの塩水濃度の低下がこのまま続けば、2000年頃には現在問題となっている灌漑地域の塩水濃度は灌漑用水として使用可能な範囲の T.D.S. 1,000 ppm 程度に低下するであろうことが予測される。表層土及び B4 層地下水の塩類集積問題に対する対応策なしに農業開発をさらに進めることは危険である。地下水の脱塩又は灌漑方法を現況の”うね間法”から”ドリップ法”に変更させる等の方策が必要となる。

21. 複合開発計画： 計画地下水涵養ダム地点における平均年流出量は合計 8.6 MCM/年と算定され、そのうちわけは、Aグループ・ダム群で 5.3 MCM/年、Bグループ・ダム群で 3.3 MCM/年である。貯水池からの漏水による地下水涵養量は

貯水池への平均年間流入量から湖面蒸発量を差し引いたものに等しい。涵養ダム群は、断裂、亀裂、空洞を含む高透水性のB2/A7層が露頭する地点に計画されている。Aグループ・ダム群は5.2 MCM/年の涵養能力を有し、農業開発がさかんに行われている西部高地の北西部での地下水の追加涵養水源となろう。3.2 MCM/年の涵養能力を持つBグループ・ダム群は、西部高地の南西部に位置するが、ここでは地域農業とマアン市への水供給の水源をB2/A7滞水層の井戸群に依存している。両者の涵養ダム群はB2/A7滞水層に対して地下水ポテンシャルを高めるための水源として重要な役割を果たし、そして、西部高地における将来の地下水開発計画に有効な手段となりえよう。

E. 結論と提言

22. 結論： 今回のマスタープラン・レベルの水資源調査からハサ上流域及びジャファル水系における地表水と地下水の水資源の分布状況、開発可能地域及びそのポテンシャルが評価された。水資源ポテンシャルのうち、B2/A7滞水層の地下水は将来の開発の中心となる。地下水流動モデル・シミュレーション解析から、下部アジュールン(A1-6)滞水層も予備的にはあるが有望と評価されている。リジャム(B4)滞水層の塩類集積問題は危険な状況にあり、なんらかの対応策が求められる。地下水涵養ダムは西部高地における将来の開発に対し重要な水源として位置付けられよう。

23. 提言：

B2/A7 滞水層

- 一 今回の調査で選定されたB2/A7滞水層の地下水開発は有望である。流域の水利用計画が明確になった時点で、“南ハサ”及び“東マアン”井戸群予定地で試験井を掘削し地下水状況を確認する。
- 一 地下水の水量と水質を開発の段階において確認するため、新規の井戸群の“南ハサ”及び“東マアン”における生産井の建設は二段階にわけ実施する。第一段階では10本の生産井で5 MCM/年の開発を実施し、その後第二段階でさらに5 MCM/年の開発を行う。
- 一 適切な地下水管理を行うため上記の生産井から得られた資料をもとに、“南ハサ”及び“東マアン”の各井戸群における地下水管理シミュレーションを実施する。

A1-6 滞水層

- 一 ハサ上流地下水盆内の下部アジュルン層（A1-6）の深部砂岩滞水層は被圧状態にあり開発の可能性が高い。そのフーズビリティーを確認するため一連の試験井を掘削するとともにシミュレーションを行いその適正開発可能量を把握する必要がある。

西部高地の地下水涵養ダム

- 一 ジャファル水系北西部のショバク周辺は滞水層の層厚が薄くかつ複雑な地質構成をもっている。そこでは農業用地下水の過剰揚水による水位低下が問題となりつつある。表流水・地下水複合開発計画のうち地下水涵養ダムは西部高地での水源涵養に高い効果が期待される。西部高地における個々の農業開発が必要になった時点で個々のダムにつき検討を加える。
- 一 西部高地のようにB2/A7層が露出する地域内では地下水の水質を保全するため家庭雑排水や農業排水を適切に管理し地下水汚染を未然に防ぐ。

地下水モニタリング

- 一 W A J の地下水モニタリングに対する努力は今後も重要であるが、政府のみならず民間のものを含め個々の井戸の揚水量をモニターする。
- 一 J T - 3 観測井を利用して下部アジュルン滞水層（A1-6）の水質のモニタリングを実施する。その中には深度別サンプラーを利用して放射性同位体を用いた地下水年代測定を含む。
- 一 将来井戸群を開発する前に、個々の井戸群の中央部に観測井を設ける。

B4 滞水層の塩類集積問題

- 一 リジャム滞水層中の塩類集積問題は深刻であり、地下水のみならず表層土壌のモニタリングを実施する。B4 層地下水の塩類集積問題に対する対応策の一例として、灌漑方式を現況の”うね間法”から”ドリップ法”に変更させる等の方策は塩害を軽減するためには有効となろう。

JICA