

シヨルダン・ハシエミット王国

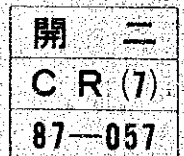
ムジブ水系水利用計画調査

最終報告書

要 旨

昭和62年7月

国際協力事業団





JICA LIBRARY



1040695171

17072



シヨルダン・ハシエミット王国

# ムジブ水系水利用計画調査

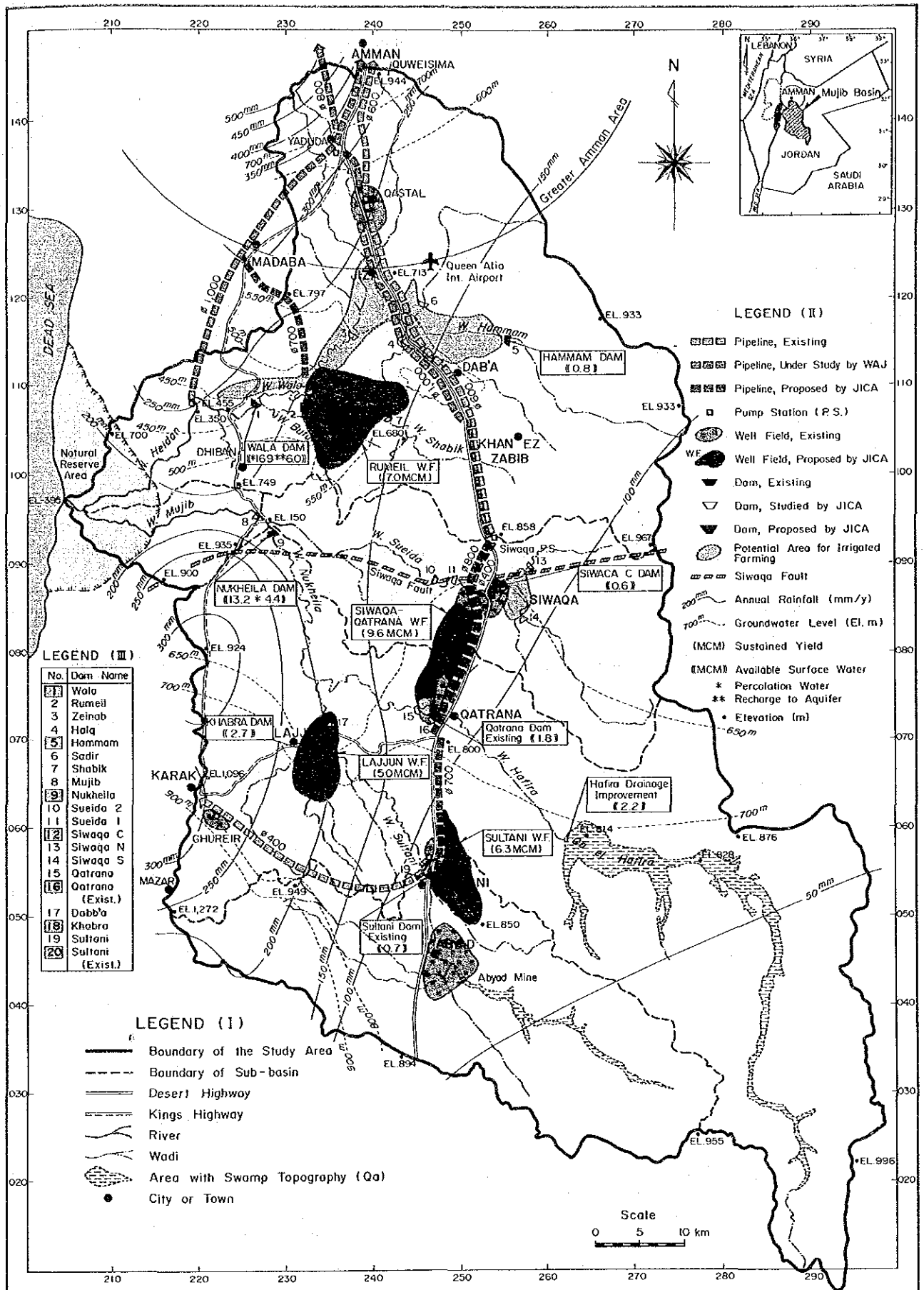
## 最終報告書

要 旨

昭和62年7月

国際協力事業団

国際協力事業団		
受入 月日	'87.12.18	307
登録 No.	17072	61.7
		SDS



**LEGEND (III)**

No.	Dam Name
1	Wala
2	Rumeil
3	Zeinab
4	Halq
5	Hammam
6	Sadir
7	Shabik
8	Mujib
9	Nukheila
10	Sueida 2
11	Sueida 1
12	Siwaqa C
13	Siwaqa N
14	Siwaqa S
15	Qatrana (Exist.)
16	Qatrana (Exist.)
17	Dabb'a
18	Khabra
19	Sultani
20	Sultani (Exist.)

- LEGEND (I)**
- Boundary of the Study Area
  - - - Boundary of Sub-basin
  - Desert Highway
  - Kings Highway
  - River
  - Wadi
  - Area with Swamp Topography (Qa)
  - City or Town

- LEGEND (II)**
- Pipeline, Existing
  - Pipeline, Under Study by WAJ
  - Pipeline, Proposed by JICA
  - Pump Station (P.S.)
  - Well Field, Existing
  - Well Field, Proposed by JICA
  - △ Dam, Existing
  - ▽ Dam, Studied by JICA
  - ▽ Dam, Proposed by JICA
  - Potential Area for Irrigated Farming
  - Siwaqa Fault
  - Annual Rainfall (mm/y)
  - Groundwater Level (EL. m)
  - (MCM) Sustained Yield
  - (MCM) Available Surface Water
  - \* Percolation Water
  - \*\* Recharge to Aquifer
  - Elevation (m)

ムジブ水系水利用計画図

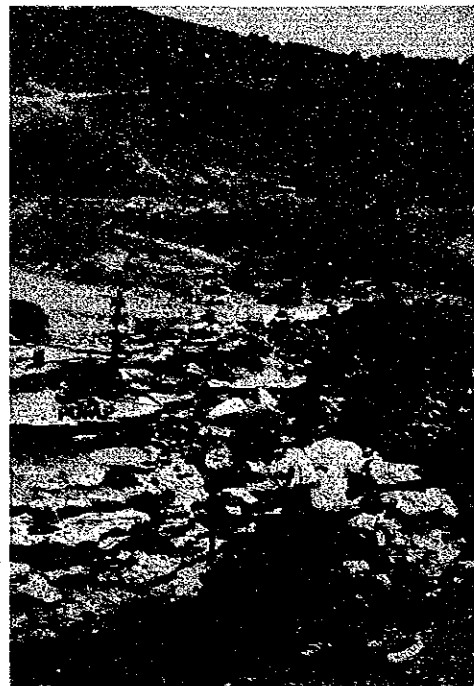
THE HASHEMITE KINGDOM OF JORDAN  
 HYDROGEOLOGICAL AND WATER USE  
 STUDY OF THE MUJIB WATERSHED  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY







ワジ ムジブ (ディバンより南方を望む)



ワジ ワラ (ヘイダン)最上流湧水地点



洪水流出(スワッカ地点 昭和61年11月8日)



カトラナ ダム (既設)



## 伝 達 状

国際協力事業団

総裁 有 田 圭 輔 殿

ムジブ水系水利用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作成しました。

報告書は3分冊より成り、第1冊は主報告書で、目標年を2005年においたムジブ水系の地下水と表流水の開発マスタープランを含み、第2冊は各調査分野の調査計画成果をまとめたもので第3冊は開発する地下水を開発し、これを導水するところの2つのパイプラインプロジェクト、すなわち、スルタニ-スワッカプロジェクトおよびルメール-マダバプロジェクトをフィージビリティ調査レベルで調査した結果を収めたものであります。

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ずる次第であります。

昭和62年7月

ジョルダン・ハシェミット王国

ムジブ水系水利用計画調査団

団長 一 宮 隆 夫



# 要 旨

## A. 経 緯

1. ジョルダン・ハシェミット王国の最大人口密集地は首都を含む大アンマン圏(首都圏)であり、ムジブ水系の流域はすぐその南に位置している。この流域の水資源は現在かなりの程度利用されてはいるが、いまだに総合的に調査されたりそのポテンシャルが評価されたことがない。そのためジョルダン政府は水文地質および表流水を含めたムジブ水系水利用計画(以下調査)の実施を決め、日本政府に技術協力を要請した。調査の実施機関は水資源庁(WAJ)である。
2. 日本政府はこの要請に答え国際協力事業団(JICA)を通じて本調査のための調査団を組織した。WAJとの緊密な協力のもとに1985年6月より本格調査を開始し、1987年7月に至る間に、4次にわたる現地作業と、それぞれに続く国内作業が行われた。報告書もインセプション、プログレス、インテリム、ドラフト・ファイナルと4回作成され、WAJとそれぞれの討議が行われた。本報告書はこれらを基にジョルダン側のコメントを十分に採り入れて作成した最終報告書である。

## B. 現 状

3. 水系の地理: ムジブ水系の流域は6,600km<sup>2</sup>ありヨルダン全国の面積98,000km<sup>2</sup>の約7%を占め、首都アンマンのすぐ南に隣接している。ムジブ水系は河口の直上流で合流する2つの支流系、ワラ川(下流部はヘイダン川とも呼ばれる)とムジブ川より成る。上流部では標高700~900mの高原を横切って多数の支流が概ね西方に向って緩い勾配で流れ、中流部ではこれらが合流しつつ高原を侵食した溪谷をかなりの急勾配で流下し、最後に2つの支流となって後合流し、その直後に死海に流入する。死海は標高海面下約400m(世界最低)の水面を持ち塩分濃度が25%(世界最高)の湖である。ムジブ流域は行政的にはアンマン、カラク両県にまたがっている。この国の幹線道路であるデザート・ハイウェイ(アンマン・アカバ間)が流域のほぼ中央部を南北に貫いており流域内での区間は約120kmある。この西方に古代からの幹線道路であるキングス・ハイウェイが蛇行しつつ流域の西部を南北に貫走している。アンマンの空港であるクイーン・アリア空港は流域の北部に位置している。人口は稀薄で現在(1985)約8万人人口密度12人/km<sup>2</sup>、これが計画目標年次の2005年には約11万人になる推定である。
4. 首都圏: 首都アンマンを中心として半径30kmの地域を本調査では首都圏と呼ぶ。首都圏の南部はムジブ流域と重複している。この首都圏は面積は全国面積の3%である。しかし人口は稠密で、アンマン、ザルカ、サルト、マダバなどの都市を含み全国の人口の約2/3が集中している。現在(1985)の人口は約162万人(人口密度573人/km)、これが2005年には約337万人(1,192人/km<sup>2</sup>)になる推定である。ちなみに全国人口は現在(1985)266万人(27人/km<sup>2</sup>)、2005年には506万人(52人/km<sup>2</sup>)となる推定である。



5. 地質:流域の地質は比較的単純で上部は1つの厚い水平層で覆われている。この地層はバルカ/アジュルン層(固有名詞として“B/A”と称される)と呼ばれ、中世代白亜紀の石灰岩層より成る広大な堆積盆である。この厚さは約900mある。流域内の地表の大部分はこの層の露出である。このB/Aの下にはクルヌブ層(“K”)と呼ばれる下部白亜紀の砂岩層より成る層がある。この層は標高0m以下のワジ下流部に露出している。本計画の主要地下水源はB/A層の中間にあり“B2/A7”と呼ばれる帯水層である。“B2/A7”は、中-上部白亜紀の石灰岩より成り、透水性が高い。この層の地下水は天水の補給を受け、水質は良好である。ムジブ流域のほぼ中央を東西に横断するスワッカ断層がある。これによって地質構造的に堆積盆は南北に二分されるが、水理地質的には連続性がある。
6. 降雨:ムジブ流域は降雨量が極めて少ない。流域北部と西南部カラク周辺が、最も多いが300mm/年程度であり、他の部分は漸減して、流域東南部では50mm/年以下の砂漠(岩漠)となる。流域平均降雨量は、ワラ支流系が、189mm/年、ムジブ支流系が128mm/年、ムジブ水系全流域平均では、154mm/年となる。この雨は10月から4月に至る雨季にだけ降るが、降雨の時期と量は年によってひどくバラつきが多い。そこで本計画では年降雨量の最頻値(確率50%又は2年に1回はこれ以上あるいはこれ以下となる値)を以って表流水の計画を立てることとする。
7. 水文:このような降雨状態なので、水系内の河川は常に乾いており、降雨後の短期間だけ水がある。いわゆるワディ(Wadi, 涸水沢)である。ただキングス・ハイウェイより下流(西側)だけは地下水が地表に出て流れるため年間を通じて基底流量がある。この量はワラ川へA7/B2層からの流出が15MCM/年、同じくその下流のK層からの流出が8MCM/年、またムジブ川へ主としてK層から流出する水が12MCM/年、これが合流して河口では35MCM/年ある。一方雨期の流出(ヨルダンでは洪水流出と呼ばれている)は、ワラ水系が29MCM/年、ムジブ水系が36MCM/年、合計65MCM/年である。流出率は基底流が、4.2%、洪水流出5.3%、合わせて9.5%となる。洪水流出は流出時期がごく短いので現在まで殆ど利用されていない。
8. 水文地質:水系内の地下水は地質の特性によって比較的豊富である。メインの帯水層は“B2/A7”である。全流域はスワッカ断層によって南北に二分されている。断層以北ではB2/A7の地下水流は、ほぼワラ川の方角に向かって流れ、キングス・ハイウェイの橋から下流5kmほどの区間中に地表に出る。北部と南部の地下水は水理的には連続しているが、断層のもつ不透水性によって南部の地下水位は50~100mほど堰き上げられている。南部ではほぼデザート・ハイウェイに沿って不明瞭な地下水分水嶺が存在する。これより西側では地下水は河口に向かって流れるが、東側では、北東へアズラック・オアシスに向かって流れ、河口方向の流出には加わらない。





9. 土 壤: ムジブ流域はきわめて寡雨であるため、土壌は質量ともにきわめて貧弱である。比較的良質な土壌は雨や洪水流出の多い部分に分布している。すなわち北部、西部の斜面及びデザートハイウェイと支流の交点などである。植生は甚だ少く、とくに雨の少ない部分にはこれが甚だしい。
10. 農 業: 流域内にはかんがいおよび天水耕作地が存在する。北部では私有の井戸からかんがい用水を得て、ビニールハウスやドリップかんがいで野菜栽培をしている地区がある(約3,500ha)。西部で年雨量150mm以上の地区では天水畑が存在しているが、作付面積はその年の降雨量によって著しい増減がある。この天水畑では小麦、大麦などが在来農法でインプットはあまり使わずに栽培されている。従って反当収量はきわめて少ない。たとえば小麦は0.6~0.8t/haである。ワラ川下流部には基底流量に依存する野菜畑が細長く存在する。これらの既耕地は、既存の条件で開発しうる殆どすべての面積をカバーしており、新たな水源がない限り新規開発は不可能である。
11. 水資源の利用の現状: ムジブ流域の地下水はすでにかなり利用されている。流域内には223本(1985)の井戸がありデザート・ハイウェイ沿いに集中している。北部の155本は私有であり、かんがい耕作に使われている。これ以外の68本の井戸は政府所有であり、アンマン、カラク、および流域内の多数の村落に給水されている。1985年にはアンマン地区へ送水された水量は15.1MCMに達し、送水の約1/4を分担した。一方表流水のうち基底流量のあるワラ川下流部には、これに頼るかんがい農業が行われている。洪水流量は殆ど利用されていない。

### C. 調査作業

12. 現地作業: 調査は1985年10月に発足し、4次にわたる現地作業と、それぞれに続く日本での国内作業が行われた、現地作業の主なものは次のとおりである。
- 水文観測と分析
  - 試験井4本と観測井2本の掘削; 既存223本の井戸の分布が偏在しているため地下水ポテンシャルの分布とシミュレーションに必要な水理常数を求めるためのもの、深度 260 - 305 m、総延長 1,684 m、仕上り口径 13 - 4 インチ
  - グムと貯水池の補候地20カ所地点の航空写真地図の作成、(縮尺 1/7,500 又は 1/15,000 等高線間隔 5 m)



- ダム基礎とダム材料調査のための代表5地点の地質ボーリングと土質試験
- 土壌、農業およびかんがい調査
- 主としてパイプラインのフィージビリティレベルの設計のための補足地形測量
- インセプション・レポート、プロGRESS・レポート及びインテリム・レポートの作成

13. 国内作業:国内作業で行った作業のうち主なものは次のとおりである。

- 現状における地下水ポテンシャルのシミュレーション、有限要素法を用い、平面二次元の結果を求めた。
- 地形上選ばれた20地点のダム計画を行い、比較検討、結果として、数ヶ所が選ばれた
- 表流水をダムで貯留し、帯水層に注入した場合の地下水シミュレーション
- これらの検討結果に基づいたマスタープラン作業
- 2つのパイプ・ラインプロジェクトのフィージビリティ・レベルによる検討、これらパイプラインは早期の開発に価するものとして選出されたスルタニ-シワッカ P/Lプロジェクトとルメール-マダバ P/Lプロジェクトである。

14. 地下水ポテンシャルのシミュレーション:流域の水文地質構造と地下水理特性を検討し、3ヶ所の新規地下水区、“スルタニ”、“シワッカ-カトラナ”、“ルメール”を選定した。これら3ヶ所の井戸群での将来揚水計画は有限要素法を適用した平面二次元地下水モデルシミュレーションにより求めた。ここで、シミュレートされた可能開発水量、計23MCM/年はワジの基底流出に与える影響を最小限にとどめかつ長期的(2005年)に安定して取水できる水量(安全揚水量)である。今回の地下水管理計画の一環として地下水ポテンシャルを増加させることを目的とし洪水貯留方式による地下水涵養ダムの有効性が、カトラナ、スルタニ、スワッカ、ワラ地点において同シミュレーションモデルで検討されている。

15. 水質:主要帯水層(B2/A7)の水質は良好で塩類濃度(蒸発残留物、TDS)は500~1,500ppmの範囲にあり、既設および計画井戸群は、TDSが1,200ppm以下の地域に選定されている。水質の分布が不均一なことから、将来の揚水による水位低下に応じて、20~100年後にTDS値は最大50~80%増加する可能性がある。基底流のTDSはワジ・ワラ(ハイダン)では400~900ppmである。一方、ワジ・ムジブでは、



1,000~1,300ppmの範囲にある。ワジ・ムジブとワジ・ワラの合流点でのTDSは両者が混合して現況で1,056ppmである。もし上流ワラ(ハイダン)地点で基底流量を取水すると、合流点でのTDSは最大40%増加する可能性があるが、ワラダムを設ければこのTDS増加は緩和されるであろう。

16. ダム計画:ワディの洪水流量は冬の雨後のごく短い時間に流下してしまうので洪水流出を利用するためには、ダム貯水池が必須となる。あらゆる可能性を網羅するため、まず、地形上ダム貯水池に適するものすべてを5万分の1(等高線間隔25m)の地図上で求めた。貯水池の貯水容量曲線が作成された。一方、現地地質踏査及び5ヶ所の代表地点の地質ボーリングの結果に基づいてダムサイトの概略地質断面図が作成された。水文解析では過去すべての降雨データから各ダム貯水池への流入量と洪水量が求められた。これら諸作業は確率処理がなされている。
17. 地質的に明らかに不利なもの、あるいは小グループ内で比較して劣るものなどを除いた各サイトについて、蒸発、浸透と堆砂を考慮して貯水池操作シミュレーションが行われ、使用可能な水量が求められた。また、ダムの最適規模やダムタイプを考え、予備設計を行い、可能使用水量とコストが求められた。結果としては、20の候補の中から今後の検討に値する7つのダム計画が選出された。それらはカトラナ(既設)、スルタニ(既設)、スワッカC、ワラ、ハمام、カブラ及びヌヘイラの各サイトである。
18. かんがい計画:まず流域全体中の水源を得易い位置に耕作可能な土壌の分布を図化した。次に気候と全国農業の現状と政府の農業新方針を考慮して数種の作付体系を案出した。この上でダム計画や地下水などの水源を勧奨して、かんがい計画を求めた。一般的にムジブ流域は雨量が極端に少なく、またこのために土壌が未熟であり、良質の土壌の分布が限られているため大規模のかんがい農業計画は成立しない。ごく小規模のものが散在する形となる。

#### D. 水利用計画

19. 方針:前述の検討の結果と基本的な個々の計画に基づきマスタープランレベルの検討をして、ムジブ流域全体の水利用計画を立案した。水源としては常時高い信頼度で得られ天水で補給されるB2/A7の地下水を主とする。ダムの効果は、石灰岩を主とする地質から考えて貯留を主目的とせず、B2/A7の地下水への涵養を主として考える。水の用途としてはこの国で最も必要にして不足する都市用水、とくに首都圏の都市用水を第一とする。次にかんがい農業を考える。このほかにも湛水と地下水涵養の



可能性のあるダム計画がある。このうちには現在特定の需要がないものは、可能な用途を挙げるに止める。

20. 上記方針に従って、ムジブ流域の水利用計画を立てる。まず井戸群の開発とこの送水に必要なパイプラインを計画する。これらはWAJで現在推進中のプロジェクトと関連して立案する。これらをプロジェクトとして立案する。次にダムは表流水を一時貯留し、これを地下水の補給とし、この補給可能性も検討する。かんがい農業計画は条件の許すかぎり立案する。この他の可能なダム計画は使用可能量を算出する。以上のうちパイプライン計画はフィージビリティ調査レベルの精度で検討し、他はマスター・プラン・レベルの精度で検討する。

21. 立案された計画: 以上の方針に従って計画を行った結果以下の諸計画が立案された。  
(巻頭の計画図参照)

目的と計画名

	優先度
1. 上水道計画	
スルタニ-スワッカ・パイプライン・プロジェクト	A
ルメール-マダバ・パイプライン・プロジェクト	A
2. 基底流量あるいは地下水の補給	
ワラダム計画	A'
カトラナ(既設)ダム計画(支流ハファイラ川の流出改善工を含む)	B
スルタニ(既設)ダム計画	B
スワッカC・ダム計画	C
3. かんがい農業	
ハмамダムかんがい計画	C
カトラナかんがい計画	C
4. 洪水貯留	
ヌヘイラダム計画	C
カブラダム計画	C
5. その他	
ハイウェイ沿いの緑地帯	C





マークの説明:AはF/Sを行ったもの、A'は直ちにF/Sを行うべきもの、Bは近い将来F/Sを行うべきもの、Cは必要に応じてF/Sを行うべきもの。

#### E. 上工水

22. 首都圏の水需要:1985年の首都圏とムジブ流域内の水需要は70 MCMで、これに対する給水量は61.5 MCMであった。この中には家庭用公共用と小工業用などの給水のすべてが含まれているが、大工業用は各自の自家井を使っているので含まれていない。2005年にはこれが198 MCM/年に増加と推定され、この間の平均年成長率は5.2%である。この需要量は首都圏の190 MCM/年、ムジブ流域内の2 MCM/年及びムジブ流域のスルタニからパイプの繋がっているカラク市の6 MCM/年の合計である。WAJの現在実施および計画の諸プロジェクトが完成すると給水能力を114 MCM/年まで増やすことができようが、それでもなお84 MCM/年不足する。そこでムジブ水系の地下水源が着目される。ムジブの地下水源は他のいずれの水源よりも首都圏より近い位置にあり、水質は上工水用として適しており、浄水の必要はない。そこでムジブの未利用地下水源をできるだけ多く首都圏の上工水にふりむけるものとする。
23. 今回明らかになったムジブ水系内での未利用地下水源は4つの井戸群より成る。すなわちスルタニ井戸群の6.3MCM/年、スワッカ-カラトナ井戸群の9.6MCM/年、ルメイ井戸群の7.0MCM/年およびラジュン井戸群の5.0MCM/年である。このうちラジュンは油母頁岩埋蔵地区にあり、将来これの開発に伴って5MCM/年の水が必要とされており井戸群の水源は政府の方針で、この開発用に温存されることになっているので今回の開発対象から外す。他の3つの井戸群の開発可能量の合計は約23MCM/年である。これは前述の2005年における供給不足分84MCM/年に振り向けると、その約27%を満たし、不足分を61MCM/年に減らすことができる量である。現在ジョルダンでは量的に判明している地下水源はここ以外にはない。またこの取水計画は下流部の基底流量に大きな影響を与えることはない。よって、未利用水源の開発可能量23MCM/年は殆どすべてを、主として首都圏の上工水水源として計画することにする。
24. 現在WAJでは多数のパイプライン(P/L)プロジェクトを建設中あるいは計画中であるので、これらの完成後の機能を十分に利用して計画を行なう。スルタニ井戸群とスワッカ-カラトナ井戸群はスワッカの南に位置するので、この2つの井戸群の水をP/Lでスワッカまで送る。この先はスワッカからヤドウダまでWAJがP/Lを計画しているので、これを利用する。この2つの井戸群の開発とスルタニからスワッカに至るP/Lを1つのプロジェクトとし、スルタニ-スワッカ P/Lプロジェクトと仮称する。一方ルメ



イル井戸群の水はマダバまで P/L を送り WAJ が建設中のヤドウバ-マダバ P/L につなぐ。ルメール井戸群の開発とルメールからマダバに至る P/L を1つのプロジェクトとし、ルメール-マダバ P/L プロジェクトと仮称する。この2つのプロジェクトについて、フィージビリティ調査レベルの検討を行った。

25. スルタニ-スワッカ-パイプライン-プロジェクト: 本プロジェクトは、安全揚水量6.3 MCM/年のスルタニ井戸群と、9.6MCM/年のスワッカ-カトラナ井戸群を開発し、合計15.9MCM/年を、スワッカまで導水しようとするものである。WAJでは、ヤドウバ-スワッカ P/L の建設を計画しているので、スワッカからアンマンへの導水はこの P/L に依ることにする。
26. プロジェクトの構成要素は、スルタニ井戸群の18本の生産井スワッカ-カトラナ井戸群の21本の生産井、2つの貯水槽およびパイプラインである。本パイプラインはスルタニ井戸群からスルタニ貯水槽に至る部分(口径500~600mm、全長11.7km)、スルタニ貯水槽からスワッカ貯水槽に至る部分(口径600~700mm、全長23.1km)、およびスワッカ貯水槽からWAJが計画中的スワッカ揚水所に至る部分(口径600~800mm、全長5.9km)より成る。パイプの総延長は40.7kmである。浄水場は必要ない。
27. 建設にはエンジニアリング諸作業、入札期間を含めて4年必要である。この総工費は19.26百万ジョルダン・ディナール(1JD=2.92米ドルで計算、56.3百万米ドルに相当)と見積られ、うち14.23百万JD(全額の74%, 41.6百万米ドルに相当)が外貨分、4.84百万JD(26%)がジョルダン通貨である。一方、これによる経済便益は毎年2.1百万JD財務便益は毎年1.5百万JDと見積られる。この経済内部収益率(EIRR)は11%、財務内部収益率(FIRR)は7%と見積られる。
28. ルメール-マダバ-パイプライン-プロジェクト: 本プロジェクトは、安全揚水量7MCM/年のルメール井戸群を開発し、この水をマダバまで導水しようとするものである。WAJでは、ヤドウバ(アンマン-リング-パイプラインの最南点)からマダバに至るパイプライン(口径1,000m/m)を建設中であるので、マダバからアンマンへの導水はこのパイプライン利用するものとする。
29. プロジェクトの構成要素はルメール井戸群の20本の生産井、2つの貯水槽、1つのブースター-ポンプ場、および主パイプラインと支パイプライン各1条である。主パイプラインは9本の井戸の水を、支パイプラインは11本の井戸の水を集める。主パイプラインは口径300~700mm、全長27.4km、また支パイプラインは口径300~500mm全長13.9kmあり、パイプの総延長は41.3kmである。ブースター-ポンプ場の揚程は160m、総吐出力は1.04m<sup>3</sup>/sで、17.9kmでマダバに至る。浄水場の必要はない。



30. 建設には、エンジニアリング諸作業、入札期間を含めて4年必要である。この総工費は14.62百万ジョルダン・ディナール(1JD=2.92米ドルで計算、42.7百万米ドルに相当)と見積もられ、うち11.14百万JD(全額の76%、32.6百万米ドルに相当)が外貨分、3.48百万JD(24%)がジョルダン通貨である。一方これによる経済便益は、毎年1.1百万JD財務便益は毎年0.7百万JDと見積られる。この経済内部収益率(EIRR)は7%、財務内部収益率(FIRR)は、1%と見積られる。
31. 総合的考察:ここに2つのパイプライン・プロジェクトが論じられたが、この2つは個々独立のものではない。現在WAJが実施中の諸パイプライン・プロジェクトの機能を最大限に利用して追加の地下水送水への投資を最小限にすべく、現在の形となったものである。すなわちWAJの諸プロジェクトと今回の2プロジェクトすべてを併せたものがムジブ地下水利用の一つの総合機能を発揮する一つの計画と考えることができ、今回の2プロジェクトはこの一部を成すものである。そこで2つのプロジェクトを合わせた評価を行った。結果はEIRRが10%、FIRRが7%と計算される。
32. パイプライン・プロジェクトに対する勧告:首都圏の上水道の需要見通しから見て両パイプラインによる早急な供給増が望ましい上に、両パイプラインとも技術的に可能であり十分な経済性を備えているから、本両プロジェクトの実現のために必要な次段階の作業に早急にとりかかることを勧告する。

#### F. 地下水あるいは基底流量の涵養

33. 概説:ダムによって洪水流量を一時貯留し、これを地下に浸透せしめて地下水あるいは基底流量を涵養する。この方法が用いられる地区が2つ計画される。1つはワラ川の下流部、他の1つはムジブ支流の上流部である。前者はワラ・ダムによってワラ川下流部(ヘイダン)の基底流量を増加せしめ、かつルメール井戸とワラ井戸群の地下水の涵養をはかるものである。後者は支流ムジブ川系の上流部分のデザートハイウェイ付近で洪水流量をダムによって貯留し、この水を注入井戸を設けて地下に注入し、乾期の地下水安全揚水量を増加しようとするものである。3つの候補案が作られた。すなわちハフィラ川にカトラナ既設ダム、スルタニ川にスルタニ既設ダムおよびスワッカ川にスワッカCダムにより目的を達成しようとするものである。
34. ワラ・ダム計画:WAJでは、ワラ川(ヘイダン川)の基底流量15MCM/年を上水道用に取水すべくワラP/L(ワラ-マダバ-ヤドウダ)の調査を進めている。一方ワラ川下流には基底流量に依存したかんがい農地がある。キングス・ハイウェイの橋から下流の両岸の斜面に野菜を主作物とする細長い畑が既存しており、農地の所有者がそれぞれ小規模のポンプを使って揚水している。現在耕作中のものは350haあり、このほかに登録済みの休耕畑が250haあり全部で600haが既存している。これは流域中で最大規模の



ものである。もし、15MCM/年が取水されると基底流量の殆どがなくなるのでこの農地存続のために、代償の水源が必要となる。

35. この代償水源としてワラ・ダムサイトが提案される。ワラ・サイトは河床も貯水池敷も透水性の大きいB2a層より成り、河床から15m以下に不透水性B1の層がある。このサイトにダムを作ると、せき上げられた水は池敷から漏水して、B2a層中を地下水として流れ、橋から下流の河床に出て基底流量を増すと考えられる。ダムは、中央しゃ水壁型のロックフィルダムとなり高さ65m、長さ350m、盛立量920,000m<sup>3</sup>を要し、19.3MCM/年の有効貯水量を得る。流入量から蒸発損失及び無効放流を除いた分の16.9MCM/年が地層の中に浸透する。(1)このうち2/3に相当する浸透水11MCM/年はダムの直接下流側に雨期の基底流出及び中間流出として流れ出るものと考えられる。このうちダム直下流に湧出してくる浸透水5MCM/年を注入井戸(11本)を通じ直接深部(200m)のA7層に注入し下流の既存のヘイダン井戸群(WAJ)の地下水ポテンシャルを増強することが可能である。(2)のこる1/3に相当する浸透水6MCM/年は浅層部B2a層に地下水として貯留され下位の不透水性のB1層に沿い下流側3kmのワラ橋地点に安定化された湧水として基底流量に加わると考えられこれが600haのかんがい水源となりうる。かんがい手段としては、すでに350haの農地ではかんがい用ポンプや送水管が、既存であり、登録ずみの農地250haに官営のかんがい施設を施す規模的メリットはないと考えられるので、統一のかんがい施設はとくに計画しない。ルメール井戸群の西部は標高的・距離的にワラダムサイトに近く、ダムからの浸透による地下水涵養効果により地下水位が約10m上昇する。これによってより安定した長期的な取水計画の検討が可能となる。

36. ムジブ川上流での地下水の人工涵養:ムジブ水系内の地下水利用に最も重要な水源地区はスワッカ以南のデザート・ハイウェイ沿いの地区である。ここに2つの井戸群とP/Lプロジェクトの開発を計画することは前記のとおりであるが、ここには今回提案する井戸群の両端に合計3つの既設井戸群(北からスワッカ、カトラナおよびスルタニ)がある。これら、とくにスワッカとカトラナ井戸群は近年安全揚水量を越えた水量が揚水されておりもしこれらが続けば地下水源が涸渇する怖れがある。そこで、これらの井戸群の地下水を人工涵養し、かつ水量を増加せしめる方策を考える。これら井戸群の近くにはそれぞれムジブ川の支流が流れておりかつ既設の2カ所のダムが存在する。そこでこれらを利用することを考える。

37. カトラナ・ダム計画:カトラナ既設井戸群の近くには支流ハフィラ川が走っておりこれには既設のカトラナダムが作られているが、このダムは特定の目的に使われたことはない。このダムを利用してカトラナ既設井戸群と提案のカトラナ・スルタニ井戸群の一部の地下水涵養を図る。ダム下流部に注入兼揚水用の井戸を設け、雨期に注入し乾





期に揚水する。これにより1.8MCM/年の流入量に対し、1.4MCM/年の揚水増加が期待できる。このために沈砂池と井戸3本の増設が必要である。

38. ハファイラ川上流部分は降雨後広大な沼になる地形を持っている。この地形のため、降雨水はここに滞留して大きな蒸発損失を生じ、かつここから地下に浸透した水はアズラックに向って流れカトラナ井戸群の涵養とはならない。そこで、この地形中に排水改良を施すと現状よりダムへの流出が多くなる。排水改良工事は、乾期中地表が乾燥している間に実施でき、あまり大規模なものではない。この排水改良によって2.2MCM/年の流出増加が見込まれる。このうち有効に注入し揚水できる1.8MCM/年に対し井戸4本を掘り足すことができる。自然流と排水改良を併用して3.2MCM/年(井戸7本)の涵養が期待できる。
39. 現在既存の貯水池には多少の堆砂があって有効貯水量は4MCMに減っている。これを所要の有効貯水量とするために追加工事が必要である。ダムの天端を3m嵩上げする。上流の排水改良によつて200年確率洪水量も大きくなるので洪水吐のクレストを現在の約70mを136mまで延長し、かつその天端を1.25m嵩上げする。またデザート・ハイウェイが洪水時に冠水しないように貯水池の周位の上流部に延長約2km最大高さ2.5mの堤防を作る。
40. スルタニ・ダム計画 :スルタニ既設井戸群の近くに支流スルタニ川が流れており、既設のスルタニダム貯水池がある。これもカトラナ同様に利用できる。ただこの貯水池は上流にあるアビヤッド燐鉱山から排出する鉱滓(人工の粘土)で埋没しかかっているのので、この処理が必要である。1.1MCM/年の有効貯水量を得るためには貯水池底の掘削と排土0.9MCMが必要であり、かつ今後鉱滓が川へ流入しないような手段、たとえば鉱滓ダムの新設が必要である。排土した後0.6MCM/年(井戸1~2本)の地下水涵養が可能となる。全体としてこの計画は規模も小さく排土に関する管理費が発生するため割高なものとなる。
41. スワッカC・ダム計画 :スワッカ既設井戸群の近くには、スワッカ川が流れている。ここにダムを建設すると、0.6MCM/年(井戸1~2本)の涵養が可能である。ダムはスワッカC、スワッカS、スワッカN、スエイダ1およびスエイダ2の5候補地点からスワッカCが最適のものとして選ばれる。ダムは中心心壁型のロックフィルダムとなり高さ16.5m長さ124m盛立量28,000m<sup>3</sup>を要し、1.1MCMの有効貯水量を得る。この貯水池数中には既設のWAJの井戸2本があり、これは注入井として残せるが、生産井には転用しにくいので下流側に注入兼生産用井戸1本の掘削が必要となる。全体としてこの計画は、流域が小さく雨も少ないので割高なものとなる。



## 6 その他の計画

42. かんがい農業開発: 全流域にわたってかんがい農業開発の可能性を求めたが、土壌分布と水源が乏しいため有望な計画は立てられないことが判明した。わずかに流域北部のハمامと南部のカトラナに小規模開発の可能性を得たのみである。
43. ハمام・ダム・かんがい計画: 計画は支流ハمام川にダム貯水池を作り、これで貯留した水でダム下流の平地をかんがいしようとするものである。このかんがい地区は既存の3本井戸からの地下水による通年かんがい地区100ha(50haはビニールハウス、50haは露地栽培)と、冬季かんがい方式の(現在未耕)の地区75ha合計175haより成る、地下水かんがいは現在の使用量はそのままとし、ダムよりの水を加えるので地下水と表流水の併用(conjunctive use)となる。主な作物はいちご、きゅうり、トマト、ニンジン、ポテトなどの高原地域では将来有望と考えられるものとした。営農方式は官営が望ましい。本計画のIRRは約0.5%位と推定される。
44. ダムは中央しゃ水壁型のロックフィルダムとなり高さ16m、長さ2,670m、盛立量680,000m<sup>3</sup>を要し、1.5MCMの有効貯水量を得る。ダムは粘性土からなる沖積層の上に位置するため漏水の問題はないが、貯水池は水深が浅く水面の面積が大きくなるため蒸発によるロスが多い。さらにワジ兩岸が平坦で長大なダム長を必要とすることから貯水効率の悪いダムとなり水源費が割高になる。
45. カトラナかんがい計画: カトラナ既設ダムの下流にかんがい農業に適した地区75haがある。主な作物はポテト、ニンジン、玉ネギなどの冬季かんがいによるものであり将来の国内市場に有望なものである。かんがい地区をできるだけ広くとるためにダムの貯留水よりの導水とした。用水量は0.6MCM/年であり、これは井戸1本分に相当する。営農は官営が望ましい。
46. 貯留: ダム計画作業の結果、貯留が可能な計画2つが求まった。1つはヌヘイラ・サイト他はカブラ・サイトである。これらの計画は現時点では水の使用目的を特定することはできないが、使用可能な水量が推定されるので、将来必要とされる時期に水源として利用可能となる。
47. ヌヘイラ貯留ダム: 本計画地点はムシブ支流系の下流部標高約180mにあり、ムシブ支流系の洪水流量が集まった地点で貯留する。ダムは中央しゃ水壁型のロックフィルダムとなり高さ61m、長さ350m、盛立量940,000m<sup>3</sup>を要し8.7MCMの有効貯水量を得る。このダムは左岸斜面全域が厚い末固結の不安定堆積物で覆われており、次段階の調査で、より精密な地質調査を行うことが必要である。貯留による水量が



8.8MCM/年、また浸透によって下流流量増加となる水量は4.4MCM/年。あわせると13.2MCM/年が最大の水量増加となる。。ありうる水の用途は高地での都市用水、かんがい用水あるいは低地での工業用水かんがい用水などである。水需要量が判明した時点で追加調査が必要である。

48. カブラ貯留ダム:計画は、流域南西部のカラク市東側の斜面の水を集めるアルビット川の水を貯留するものである。この斜面は降雨が比較的多いので、流入量も比較的多い。標高は約690mと高くラジュン油母頁岩埋蔵地区に隣接している。中央しゃ水壁型のロックフィルダムとなり高さ29.5m、長さ455m 盛立量290,000m<sup>3</sup>を要し、6.1MCMの有効貯水容量をもつ。貯留によって得られる水量は2.7MCM/年と推定される。油母頁岩開発用にラジュン井戸群の地下水5MCM/年が温存されることは既述のとおりであるが、カブラダムの水はこの一部分に代用しうるので、ラジュン井戸群の地下水の一部分を高原の上水道水源(カラクを含む)として振り向けることが可能である。200~300mのポンプアップをいとわなければカラク近郊での農業用水として使用も可能(コストは高いであろう)である。また下流のかんがいその他の水源としての使用も可能であろう。
49. 両ダム併存の場合の水量:上述のように貯留によって得られる可能最大の水量はヌヘイラ・ダムが8.8MCM/年、カブラ・ダムが2.7MCM/年である。この水量はどちらかのダムが単独にある場合の値である。この2つのダムは同水系にあるので、2つの併存するときは合計値は多少減って10.0MCM/年となる。
50. 緑地帯:デザート・ハイウェイやキングス・ハイウェイの雨の多い部分には道の両側に3列より成る並木の緑地帯が作られているが、雨の少ない部分では木が自生できないという理由で未建設である。この未建設部分総延長約100kmの建設は可能である。既設と同様の設計をした場合の総用水量は0.1MCM程度と見積られるので、植樹後タンクローリーによって最寄の水源から水を運んで灌水できる。水源は主として最寄の貯水池とすれば良いが、最乾期には井戸水が必要となろう。





JICA