

モロッコ王国

レリス盆地ダム建設計画調査

主報告書

1990年3月

国際協力事業団

レリス盆地ダム建設計画調査

主報告書

1990年3月

411
61.7
333

JICA LIBRARY



1083265(7)

21310

モロッコ王国

レリス盆地ダム建設計画調査

主 報 告 書

1990年3月

国際協力事業団



序 文

日本国政府はモロッコ国政府の要請に基づき、同国のレリス盆地ダム建設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12月より1989年3月まで、および1989年7月より10月までの2度に亘り、日本工営株式会社の津田誠氏を団長とし、同社及び株式会社三祐コンサルタンツから構成される調査団を現地に派遣した。

調査団は、モロッコ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、ひいては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

レリス盆地ダム建設計画調査

伝 達 状

1990年3月

国際協力事業団
総 裁 柳谷 謙介 殿

モロッコ王国のレリス盆地ダム建設計画調査に関する最終報告書をここに提出いたします。本報告書は1988年8月国際協力事業団とモロッコ側の受入れ機関である公共事業省水利総局との間でとりかわされた合意書に基づいて実施された調査作業の成果をとりまとめたものであります。

報告書は主報告書、附属報告書ならびに資料集で構成されております。主報告書にはダム計画とその背景、状況、条件を含めて記述してあります。附属報告書には計画策定に用いた条件、方法論等の詳細をとりまとめました。資料集には、ダム計画策定に使用した水文、地質、物理探査および水質に関する基礎資料を掲載いたしました。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に亘り多大なご支援を賜った貴事業団、作業監理委員会、外務省、建設省、在モロッコ日本国大使館の諸賢ならびにモロッコ政府諸機関の関係各位に対し心から感謝の意を表するものであります。本調査の成果がレリス盆地での水資源開発にとって有益なものとなるよう心から希望するものであります。

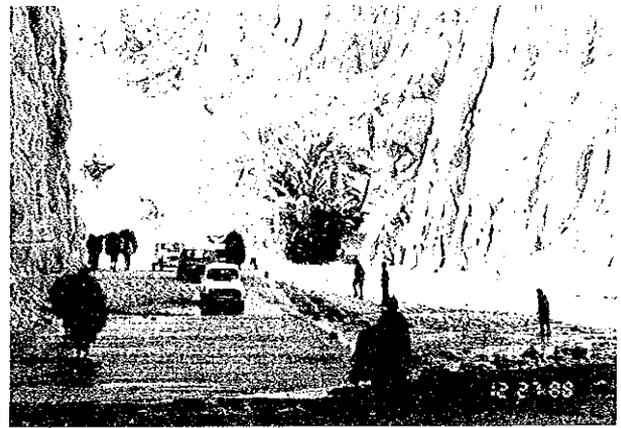
調 査 団 長
津 田 誠



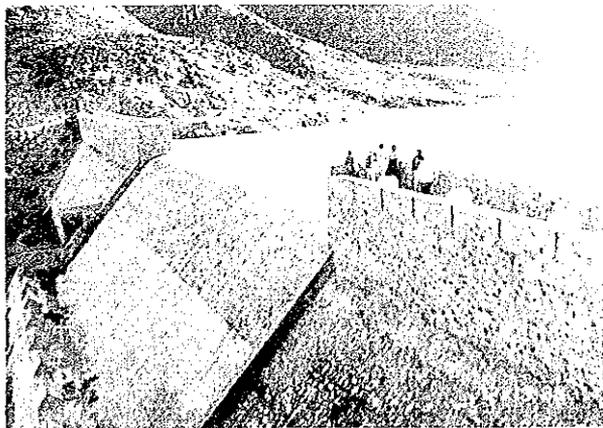
上流側より見た Timkit (No. 16) ダムサイト



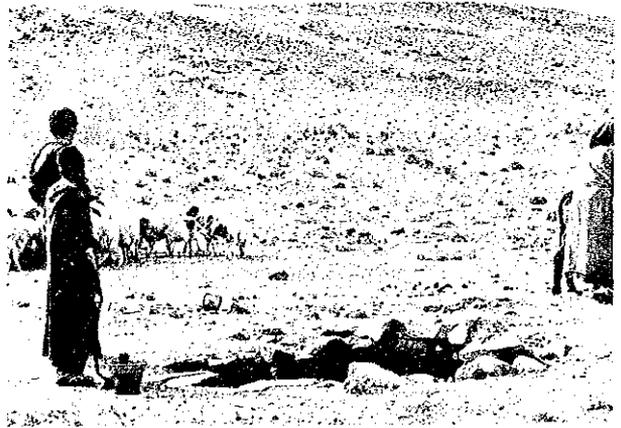
レリス川の本流に築造された取水堰 (Goulmima附近)



Todrhaダム地点 (No. 20) 直下流の渓谷



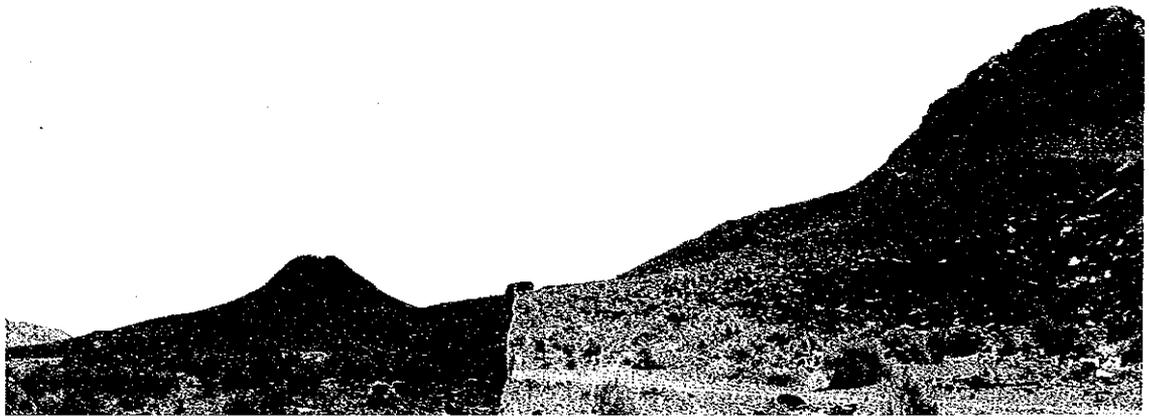
A k k r o u z ダム



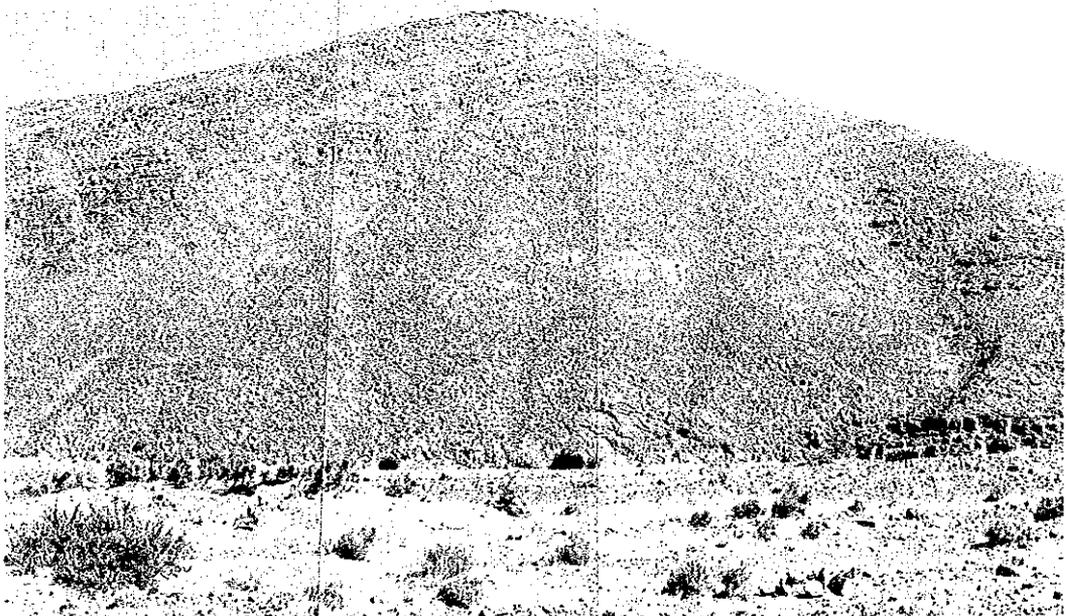
Ifniダム地点 (No. 21) 附近の掘抜井戸



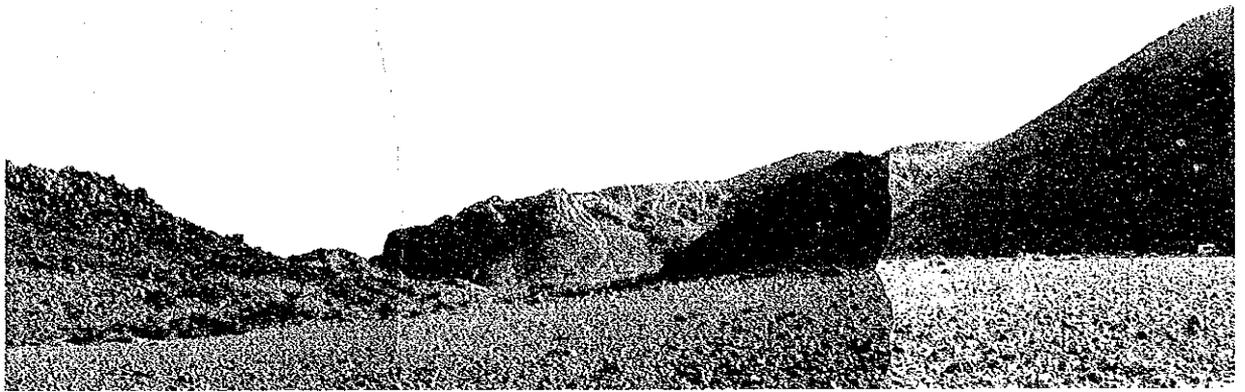
下流側より見た Oukhit (No. 28) ダムサイト



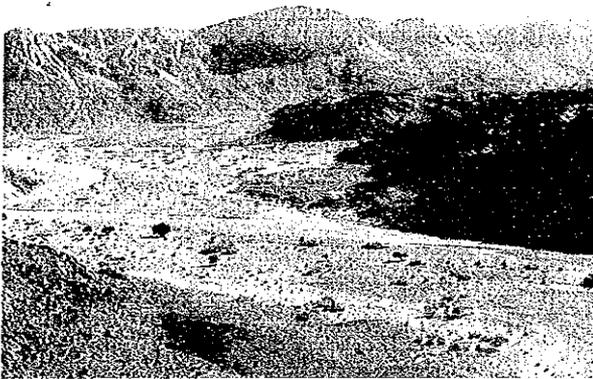
Oukhit ダム サイト 右岸側 取付部



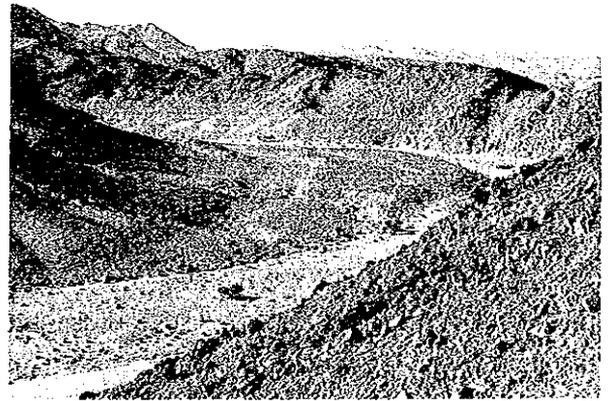
Oukhit ダム サイト 左岸側 取付部



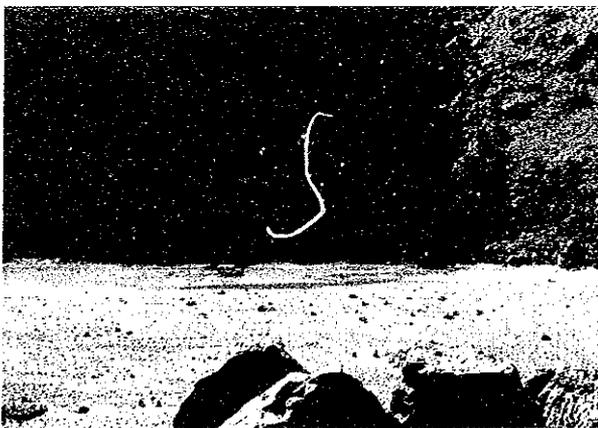
上流側から見た Oulhou (No. 29) ダムサイト



左岸側取付部より下流域を眺む



左岸側取付部より上流貯水池サイトを眺む



右岸取付部



左岸取付部

要 約

1) モロッコ王国は独立以来これまで食料の自給自足及び生活、工業用水の確保に多大な努力を払って来た。この目的の達成のために西暦2000年までの間、毎年1ヶの大ダムそれに15ヶの小規模のダムを建設して賦存の水資源を最大限に有効利用する方策を明らかにした。公共事業省の水利総局(AH)はこの方策の一環としてモロッコ王国の中央部の東側に位置するレリス盆地内に中・小規模のダム群の建設の為のスタディを実施することになった。これらダム群の建設により、洪水防御や灌漑用水及び生活用水の安定的な供給を可能ならしめ民生の安定を目指している。

この目的の達成のためモロッコ王国政府は日本国政府に対して技術協力援助を要請して来た。これにこたえて日本国政府はレリス盆地ダム建設計画調査を実施することになった。日本国の技術協力援助機関である国際協力事業団(JICA)はモロッコ側のカウンターパート機関となる公共事業省水利総局(AH)とスタディの詳細を打合せるために、1988年7月にS/Wミッションを現地に派遣した。協議の結果、作業の実施方針及び方法についてJICAとAHは合意に達し1988年8月5日議事録の調印が行われた。

2) 国際協力事業団は6名の専門家からなるスタディ・チームを1988年12月16日よりモロッコ王国に派遣、スタディ・チームは現地到着後ただちに各専門分野での調査作業を開始した。約1ヶ月かけて調査対象地域であるレリス盆地(14,500km²)の主要地域を踏査した。レリス川は下流でその流れを南にかえジズ川と並行しながらサハラ砂漠へ消えている。この両河川にはさまれた地域はErfoud及び Rissaniを中心とした人口稠密地でかつ耕地面積も多い。この両河川の集水域界が平坦地のため明確でなく、かつこの地域では水利用の面から見て密接な関係があると判断されるので、この地域の踏査も実施した。この第一次現地踏査は調査対象地域の現況を把握することに主眼を置いた。地形、地質、土地利用、運輸・通信、自然・社会環境その他の諸情報の収集に努めた。事前のマップ・スタディ及び現地踏査により先ず28ヶ地点の開発可能と思われるダムサイトを選び、その後のスタディにより更に4ダムサイトが追加され、結局合計32ヶ地点のダムサイトがスタディの対象となった。第一次の現地踏査により得られた諸情報を検討したのちに、第二次の現地踏査を1989年1月中旬より開始した。スタディ・チームの第二陣として5名の専門家が1989年1月10日より現地踏査に参加し、この第二次現地踏査は3月中旬まで継続された。

JICAスタディ・チームは1989年3月末に帰国し、第一次、第二次の現地踏査により入手した諸情報及び検討結果を踏えて、各分野での解析作業を引き続き行った。国内作業は1989年4月から6月にかけて行われ、スタディ・チームは7月より再度モロッコ入りし、

諸調査を再開した。この諸調査と解析作業は並行して行われ1989年10月までに予定通り完了した。この間、水利総局側はJICAスタディ・チームに対し近年の旱魃により大きな被害をうけているレリス川中、下流域のTinejdad、Mdllaab、Jorf/Fezna、及びTafilalet地域への水供給を最優先するダム開発を考慮して欲しいと要望した。これに答えるべくJICAスタディ・チームは、これまでの32地点のダムサイト以外にも開発可能なダムサイトがないカタルダ川の上流域、それにトドラ川中流域の支流付近を水利総局のエンジニアと一緒に追加踏査した。タルダ川の一地点、それにトドラ川支流で3地点の現場踏査を行ったが、結局開発有望なダムサイトは見当らなかった。

現地踏査により得られた諸情報ならびに解析作業の結果に基づいて、必要とされる追加調査のプログラムが作成された。追加調査は地形測量、地質調査、物理探査等で現地の業者に委託して行われ、JICAスタディ・チームの専門家が作業の監督を行った。

第一次の追加調査はレリス盆地内の主要4河川での河川縦、横断測量、それに25ダム地点での横断測量で1989年1月から3月にかけて実施された。第二次の追加調査は開発有望な緊急ダム案件として選定された3ダム即ちTimkitダム、Oukhitダム及びOulhouダムのダムサイトそれに貯水地域での地形測量、ボーリング、透水試験等の地質調査、それに物理探査で、これらの諸調査は1989年8月から10月にかけて実施された。

3) スタディ対象地域は人口も少なく、また天然資源にも恵まれていない。主たる産業である農業も水不足それに厳しい気象条件により幾多の制約を受けている。レリス盆地内の耕地面積は凡そ23,000haで、これはエルランディア県の耕地面積の約50%に相当する。しかしながら耕作は年々の降雨量の多寡により大きく影きょうされ、その耕作面積は一定していない。農業以外では、観光を別としてさしたる産業は見当たらない。零細的な探鉱もわづかばかり見られる。最大の雇用機会を与えているのは政府関係機関で、そこには約6,000人が就業している。流通機構が十分に整備されていず、住民の収入は極めて低レベルにある。このような当該地域の現状から判断して、経済に活気を与える為には資源の有効利用が不可欠である。この地域の開発戦略の根幹をなすのは、何と云っても水資源の開発である。レリス盆地内に於る中、小ダムの開発は、モロッコ政府のこの地域での開発方針に沿うものである。水資源の開発を目的とした中、小規模のダムの建設は西暦2000年迄に毎年大ダムを1ヶ所、小規模ダムを15ヶ所を予定している。この水資源開発により農業用水及び生活用水の供給、それに洪水被害の軽減が期待される。1980年代前半の厳しい旱魃が、この水資源開発に拍車をかけることになった。

地域内での経済活動及び人口分布を自然的かつ社会的な面から捉えてみる。農業は、川沿いの耕地及び地下水の利用が可能な地域に限られている。人口は域内に分散しており、人口集約地はTinerhir、Tinejdad、Goulmima、Mellaab、Jorf等のレリス川の中流域や、Ait Hani、Assour、Amellago、Aghbalou、Kerdus等のレリス川上流域の村落である。耕地はどれも小さく、5 ha以下の耕地が全体の98%を占めている。

1982年のセンサスによれば、レリス盆地内の市町村の人口は167,000人となっている(一部 Rissaniの人口も含む)。1972年と1982年のセンサスから見て人口増加率は年率2.3%で、これは全国平均の2.6%よりも低い値となっている。市町村別に見てみると人口増加率はそれぞれ違いErrachidiaやTinerhirではその値は大きい。この人口増加率から推定するとレリス盆地内の現在の人口は、195,000人、約35,000家族程度であろうと思われる。

将来人口の予測にあたり、域内の主要な市町村を下記の如く人口増加率の高い地域、中位の地域、それに低い地域に区分出来る。

- 高い地域 : Tinerhir、Tinejdad、Goulmima
- 中位の地域 : レリス川中、下流域の市町村
- 低い地域 : レリス川上流域の山間部の集落

人口予測によれば西暦2020年には人口は約倍増する。この間の人口増加率は約20%であるが、都市部の人口増加は地方に比較して倍程度の伸び率を示すであろう。山間部の人口は減少の一途をたどり全人口の16~13%程度になろう。現在、当該地域での主要都市であるTinerhir、Tinejdad、それにGoulmimaの人口は全人口の54%を占めているが、西暦2020年には人口は20万人を越え、比率も57%に増加しよう。

4) 調査対象地域のレリス盆地は、その面積が14,500km²と広く、限られた期間内のスタディにランドサット (LANDSAT)データの利用が必要不可欠である。今回のスタディでは下記の情報を得る為にデータを利用し解析を行った。

- (a) LANDSAT フォールスカラー画像
- (b) 土地利用図
- (c) 冠水区域想定図
- (d) 表層地質図
- (e) 地表含水状況図
- (f) 傾斜区分図

この目的で、利用可能なランドサット (LANDSAT) データの選定を行い、MSS (Multi-Spectral Scanner) の CCT (Computer Compatible Tape) データを使用した。CCT データの検索にあたっては、乾期、雨期、洪水期の三時期とし、雲量が少なく、かつ画質の良好なものを選定した。CCT データは主としてイタリア受信局 (EARTHNET) から入手した。フォールスカラー画像は東京で作成され、これは専門家が現地踏査の際に利用した。引き続き解析作業を東京で行い、1989年7月末までに作業は完了した。上記の諸図は縮尺25万分の1で作成され、その判読により得られた諸情報はパート“B”作業での基本計画の策定に利用された。

5) モロッコ国はアフリカ大陸の北西端にあり、地中海地域や北大西洋一帯 (スペイン沖) の主要な地震地帯に隣接している。しかし調査地域のレリス盆地は高アトラス山脈の南に位置しており、主地震地帯から約 500km 又はそれ以上離れているため、これらの地震による影響は少ないと結論できる。モロッコ政府機関のひとつである Centre National de Coordination et de Planification de la Recherche Scientifique et Technique よりモロッコ国及び周縁部において過去に記録された地震のリストを収集した。これによると1901年より1980年までに1518回の地震が記録されている。このうち 397回の地震は各ダムサイト予定地点に対しての影響を検討する対象として抽出された。抽出した地震に基づき、種々の解析を行なった結果今後 100年間にサイト近傍で発生の可能性があると考えられる地震の加速度は 2~13gal (0.01G 以下) となる。しかし、ダム設計のための地震係数は、安全を見て近傍で既に建設されている Hassan Adakhil Dam (1971年7月完成) の例 $K=0.1G$ を採用した。

6) 調査地域の水理地質構造の解析によれば調査地域の地下水は、第四紀の河川堆積層 (Q) 中を流動する自由地下水(1)と白亜紀の砂岩 (Csa)、ジュラ紀の石灰岩、石灰質砂岩 (Jls、Jsa) 中を流動する被圧地下水(2)に分けられる。白亜紀の砂岩が分布するところでは概念図に示すように上部に不透水層と評価できる頁岩層 (Csa) が分布する。これとは別に調査地では、デボニアン紀の石灰岩、石灰質砂岩 (Dls) 中に化石水的被圧地下水(3)が認められる。地下水を賦存する地層 (帯水層) の水理地質的特徴は以下の通りである。

地下水 の分類	地 層	層 相	厚さ (m)	地下水タイプ	透水係数 (cm/sec)
(1)	第四紀の河川堆積層 中生代	砂、砂礫 (Q)	20~50	自由地下水	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
(2)	白亜紀+ジュラ紀	砂岩 (Csa) 石灰岩、石灰質砂岩 (Jls、Jsa)	100~300 500+	被圧地下水	$10^{-4} \sim 10^{-3}$ "
(3)	古生代 デボニアン紀	石灰岩、石灰質砂岩 (Dls)	0~300	化石水的 被圧地下水	不 明

流域内に存在する3つのタイプの地下水は、それぞれ別々の地下水流動形態及び地下水涵養機構を有している。第四紀の河川堆積層中を流動する地下水(1)は、レリス川やトドラ川の上流から下流にかけて流下している。この地下水の涵養源はほとんど高アトラスやアンチアトラスから流れ込む河川水である。白亜紀の砂岩やジュラ紀の石灰岩、石灰質砂岩中の地下水(2)は、高アトラス山地からGoulmima、Tinerhir方向へ向かって流動している。高アトラス山地中の降雨の一部は直接ジュラ紀の岩盤中に浸透し、白亜紀の砂岩を通じて流出している。高アトラス山中に認められる泉やGoulmima周辺のホッタラは、これらの地下水が湧出しているところである。デボニア紀の岩盤中の地下水(3)の起源は、高アトラス山地で降った雨が昔に浸透したと考えられるが、分布がアンチアトラス山地縁辺部やErfoud北部の自噴井戸に限られていることより、詳細は不明である。

7) 地下水の流動機構、流動速度を把握する目的で、レリス盆地内の数地点でサンプル水採取しトリチウム、炭素14による地下水の年代測定を実施した。トリチウムは5地点、炭素14は2地点で採水し、測定は学習院大学理学部の年代測定室に依頼し実施した。採水地点の選定は測水調査結果、水質調査結果に基づいて行った。測定結果の概要は以下の通りである。

試料No	地下水の分類	年代測定法	水源	帯水層	年代測定結果
103	(3)	炭素14	泉	石灰岩(デボニアン紀)	>36,690年
120	(3)	"	深井戸(自噴)	石灰質砂岩(")	>38,170年
107	(2)	トリチウム	ホッタラ	砂岩(白亜紀)	0.9 T.U
114	(1)	"	掘抜き井戸	砂、礫(第4紀)	7.0 T.U
117	(1)	"	ホッタラ	" (")	9.3 T.U
218	(2)	"	泉	石灰岩(白亜紀)	8.2 T.U
691	(1)	"	掘抜き井戸	砂、礫(第4紀)	4.7 T.U

※ 年代(1950年よりの年数)

$$1 \text{ T. U} = {}^3\text{H}/{}^1\text{H} = 10^{-18}$$

トリチウムによる年代測定の結果、試料番号107の0.9 T.Uを示すホッタラの水(2)は、ほとんどが50、60年より古い水で、最近の水(過去5年以内)は極く少量しか含まれていなかった。試料番号114、117、218、691の水は、50、60年より古い水と最近の水が半分ずつ混入していると判断される。試料番号103、120の地下水(3)の年代は36000年よりも古いという結果になった。これらデボニアン紀の地下水(3)は、高アトラス山脈から長い時間をかけて流下してきたもので、化石地下水的な地下水であると評価される。

8) レリス盆地内の合計54地点より標本を採取し水質分析を行なった。標本の採取は泉、ホッタラ、井戸、それに河川から行い、そのうち33サンプルについてはJICA供与の簡易水質分析セットを使用して現場で分析し、残りの21サンプルはカサブランカのLPEEラボラトリーで、より詳細な分析を実施した。水温、PH、それに電気伝導度(EC)については全サンプルに対して採水時に計測を行なった。採水場所の選定に当たっては、生活用水、灌漑用水、牧畜用水の需要地それに水理地質調査との関連も十分に考慮に入れた。

水質分析の結果、飲料水として無処理で利用出来るのは、Todrha溪谷の水、Ait El Mesquineの井戸水、Arhbalouの泉水、それにTinoumirraとAit Ba Maatiのホッタラの水である。他の不適と判定されたサンプル水は主として、硬度や塩素濃度が高く、また大腸菌を含んでいる。病原菌の含有は河水や湧泉からのサンプル水の採水時期によりかなり値がちがう。融雪水や洪水には多くの有機物が含まれており、バクテリアの増加が見られる。一方、ホッタラや井戸の中には農業用水や下水の浸透により汚染されているようである。給水人口の増加に伴い集落内の井戸水の利用頻度が高まれば、汚染の恐れが増すと思われる。

灌漑用水として利用する場合は、土壤の電気伝導度(EC)を4 mmhos/cm以下におさえるためにリーチング防止のための水が必要である。この値を越えると収穫量が急に減少する。これに必要な水は所要の灌漑用水量の30~60%にもなる。ナツメヤシは塩害にはかなり強いが、この地域ではナツメヤシの樹下に種々の農作物を栽培しているので水を減らすわけにはいかない。天水や洪水による耕作地は一般に細粒分の土壤で浸透能が低くリーチングの問題は少ない。生産性を高めるためにスプリンクラーによる灌漑を行う場合は注意を要する。この場合、土壤の浸透能はスプリンクラーによる散水率より大きくなくてはならない。また常時散水するため費用がかさみ、ひいては作物の生産単価が高くなる。一方、ドリップによる灌漑はこの地域では不向きである。主たる理由は、塩分の含有率が高いのでパイプの目づまりをおこし効率が低下する。蒸発散量が多いので給水地域の周辺に徐々に塩分が残留して来て土壤の劣化を来す。

9) レリス盆地内の表流水及び地下水の現況の水資源ポテンシャルの検討を高アトラス地区、アンチアトラス地区及び中央平地部(丘陵部)に分けてそれぞれ評価した。とくに地下水については、盆地内の地下水賦存形態を考慮し、河川堆積層中の不圧地下水と白亜紀、ジュラ紀層を流れる岩盤中の被圧地下水の二つに区分した。水資源ポテンシャルの検討を行った範囲は、Megta Sfa から上流の約10.565km²の地域である。

表流水ポテンシャルは、高アトラス地区、アンチアトラス地区及び中央平地部(丘陵部)から流出する河川流出量を対象として評価した。盆地内ではTadighoustとAit Bouijaneの二ヶ所で流量観測が1961年以来継続して行われており、表流水ポテンシャルの算定は、1961年から1986年迄の26年間のデータを使って行った。算定結果は下表に示す通りである。

(単位：10⁶m³/Year)

地区名	降雨量	表流水ポテンシャル
高アトラス地区	732	77
アンチアトラス地区	300	23
中央平地部 (丘陵部)	461	29
合計	1,493	129

1978年から1986年迄の最近10年間のデータを使った推定では、表流水ポテンシャルが6.1×10⁶ m³/Yearであるが、1961年から1986年迄の過去26年間のデータでは129×10⁶ m³/Yearと約2倍近いポテンシャルを示している。これは年平均流出量が、1970年代の後半から年々減少していることに起因している。

レリス盆地内で開発が可能な地下水は、河川堆積層中を流動する不圧地下水とジュラ紀、白亜紀の岩盤を流動する被圧地下水である。デボン紀の化石地下水は年代が古く、塩分濃度が高く、かつ賦存量が不明であることより、地下水開発の対象から除外すべきである。1978から1987年迄の水文資料を使用して水収支計算を行成った結果、レリス盆地内の地下水開発ポテンシャルは以下の通りである。

(単位：10⁶m³/Year)

地区名	降雨量	河川流出量	河道地下水の流出量	岩盤地下水の流出量
高アトラス地区	487	43	5	114
アンチアトラス地区	293	8	11	0
中央平地部 (丘陵部)	343	10	0	0
合計	1123	61	16	114

流域全体で見れば河川堆積層中 (河道地下水) の地下水ポテンシャルは、岩盤地下水のポテンシャルに比べてかなり小さい。流域内の井戸による地下水位観測結果を見ると河川堆積層中の地下水位は過去10年間で連続して低下しており、このままの状態 (河川からの浸透量の不足) が続けば、今後も継続して低下する可能性があり、何らかの方法で地下水の涵養を考える必要がある。しかし地下水の開発にあたっては、開発地域のみならず、開発が周辺地域に及ぼす影響を事前に考慮しておく必要がある。

10) 14,500km²の広大なスタディ対象地域の中で集落や可耕地はレリス川本川その他支流沿いに拓けており、これらの地域では表流水のみならず地下水をも最大限に利用している。しかし、この地域の発展が限られた水利用により制約を受けているのが実情である。流域内には単目的あるいは多目的ダムとしての開発ポテンシャルを有するダムサイト候補地が数多くある。言うまでもなく、開発有望だからと言って、全てのダムを同時にあるいは限られた短期間のうちに実施にうつすという事は財政的な面から見て現実的でない。従って開発効率あるいはニーズの高いものから順次建設に着手していく事が望ましいと言える。

検討がなされた32ヶ所のダムサイトのうち、7ヶ所は地形上の問題で、また1ヶ所は有名な景勝地であるトドラ渓谷に位置することで今後のスタディの対象外となった。残り24ダムサイトの中には、同一河川の上流から下流にかけてお互いに代替案として検討されたダムサイト群があり、これらのダムサイト群からは最も効率の高いと思われるダムサイト1ヶ所のみ選定した。このスクリーニング作業により8ヶ所のダムサイトが除外された。従って合計16ヶ所のダムサイトが最終的に選定されたことになる。

1966年から1975年にかけて、また1981年から1985年にかけての長く続いた渇水年の影響でTinejdadより下流域で深刻な水不足が生じている。この水不足の解決または緩和が最優先だとされており、その解決後に全体の未利用水資源が残れば、それを中、長期開発計画の中にとり込んで開発して行くべきであろう。

現在水不足が深刻で早急にその解決が望まれている地区としては、Tinejdad、Mellaab、Jorf及びその下流域である。この点を考慮したうえで、合計16ヶ所のダムサイトのうち、No.16: Timkit、No.28: Oukhit、それにNo.29: Oulhouの3ヶ所が緊急計画として採り上げるダムに選定された。残りの13ヶ所のダム群は、これに続き中、長期開発計画の中で段階的に実施に移されていくであろう。これより検討された合計16ヶ所のダムサイトの優先順位は次の様になる。

<u>開発順位</u>	<u>ダムサイト名</u>
- 1st priority (緊急計画)	No.16: Timkit、No.28: Oukhit、No.29: Oulhou
- 2nd priority	No.8: Imider、No.14: Tadighoust、No.15: Taerguiout、 No.18: n'Irhenjaoune Amont、No.21: Ifni、 No.24: Tarhaucht Aval、No.27: n'Nerroucha Aval、 No.30: Sarhro、No.31: Imider
- 3rd priority	No.3: Ouzirham、No.4: Akdim No.6: Bou-Oudad、No.7: Aniraram

11) 社会・経済的な見地から、最終的に開発が有望だとされる3ダムについては、モロッコ政府もその優位性を認めるものであり、レリス川中流域の近年の大旱魃により被害の大きかった地域への水供給に効果があるものである。Timkitダム (No16) は、ダム直下流域あるいはTinejdad、Oukhitダム (No28) はダム直下流域とJorf/Pezna、Oulhouダム (No29) は Tourougを中心とした下流域への水供給を可能にする。この3ダムの経済評価は、原則としてダム建設に要する直接、間接費用、及びこれより発生する便益を算定することにより行った。直接費用としてはダムの建設費及び完成後の維持管理費があり、また間接費用としては貯水池の湛水域にある耕作地、家屋、道路、送電線等の移転に要する補償費を考慮する。一方、便益は、用水供給による農産物の増産、生活用水、牧畜用水の給水である。

Timkitダムは、近年の旱魃により大きな被害を受けたTinejdad地区への用水供給が可能である。しかしながらダムサイトからTinejdad地区までの距離が30kmとかなり遠く、送水ロスあるいは土壌の塩害防止に余分な灌漑用水が必要となることから、大幅な経済便益は期待出来ない。Tinejdad地区へ用水供給をするよりも、ダム直下流のTimkit地区を新規開発の方が有利である。従ってここでは上記の2ケースについて経済評価を行った。評価の結果、可耕面積の少ないTinejdad地区の場合は内部収益率が4.7%~3.8%程度、ダム直下流のTimkit地区の場合は、これよりも高い7.3%~6.2%となった。

Oukhitダムの主目的はダム下流1.5kmに位置するOukhit集落、それに30kmはなれたJorf集落への用水供給である。しかし、Jorf集落への用水供給は期待薄である。その理由としてはダム貯水により有効な水はほとんどOukhit地区で利用されることと、下流のJorf/Pezna地区はレリス川本流沿いに位置しており、水供給は大部分をレリス川に依存し、支流のウムヘリ川からは極く少量の水しか水供給を受けていない。従ってプロジェクト評価は用水供給がOukhit地区へ行われるケースについてのみ考慮した。計算された費用、便益により内部収益率を計算してみると0.34%と極めて低い値となった。

OulhouダムサイトはTouroug集落より約14km上流のチャリ川に位置する。このTouroug集落への灌漑用水の供給が本プロジェクトの主目的となる。この集落は近年の旱魃と塩害により大きな被害を受けており、新規水源の開発及び安定した用水供給が待たれている。ダムからの距離を考えれば、表流水の直接利用ではなく、地下涵養方法となろう。計算された費用、便益から内部収益率を計算してみると、1.78%とかなり低率である。

目 次

	頁
第一章 序 論	1 - 1
1.1 プロジェクトの背景	1 - 1
1.2 調査作業	1 - 3
1.3 作業の成果	1 - 3
1.4 調査作業への参加者	1 - 3
第二章 収集した基礎資料	2 - 1
2.1 資料の入手先	2 - 1
2.2 地図と航空写真	2 - 1
2.3 気象、水文資料	2 - 1
2.4 地下水資料	2 - 2
2.5 地震の資料	2 - 3
2.6 LANDSAT データ	2 - 3
2.7 社会、経済資料	2 - 3
第三章 現地踏査及び追加調査の概要	3 - 1
3.1 現地踏査	3 - 1
3.1.1 概 論	3 - 1
3.1.2 踏査項目の内容	3 - 2
3.2 実施した追加調査	3 - 2
3.2.1 概 論	3 - 2
3.2.2 追加調査の内訳	3 - 2
第四章 気象・水文解析	4 - 1
4.1 調査の目的	4 - 1
4.2 収集したデータ	4 - 1
4.2.1 気象データ	4 - 1
4.2.2 水文データ	4 - 2
4.3 水文解析	4 - 2
4.3.1 高水解析	4 - 2
4.3.2 低水解析	4 - 5
4.3.3 補足調査	4 - 7

4.4	洪水防御計画	4-7
4.4.1	基準地点	4-7
4.4.2	確率高水流量配分	4-7
4.4.3	計画規模	4-8
4.4.4	洪水防御計画	4-8
4.5	緊急ダム利水計画	4-9
4.5.1	概要	4-9
4.5.2	ダム流入量	4-9
4.5.3	受益地	4-9
4.5.4	水収支計算	4-9
4.5.5	水資源開発計画	4-10
4.6	計画貯水容量	4-10
4.6.1	概要	4-10
4.6.2	ダム余水吐に対する設計洪水流量	4-11
第五章	ダム地質	5-1
5.1	調査の概要	5-1
5.2	レリス盆地及びその周辺の地質一般	5-1
5.2.1	地形	5-1
5.2.2	地質	5-2
5.2.3	地質構造	5-3
5.3	地震	5-3
5.4	各ダムサイトの地質	5-5
5.4.1	概論	5-5
5.4.2	Timkitダムサイト (No.16) の地質	5-5
5.4.3	Dukhitダムサイト (No.28) の地質	5-9
5.4.4	Oulhouダムサイト (No.29) の地質	5-12
5.5	結論	5-15
第六章	水理地質	6-1
6.1	調査の概要	6-1
6.2	調査地域の水理地質の現況	6-1
6.2.1	水理地質	6-1
6.2.2	水理地質構造	6-2
6.2.3	地下水流動機構、地下水涵養機構	6-3
6.2.4	電気伝導度 (EC)	6-3

6.2.5	PH	6-3
6.2.6	水温	6-4
6.2.7	水理定数	6-4
6.2.8	浸透能	6-4
6.2.9	地下水の年代	6-4
6.2.10	水質	6-5
6.3	地下水開発ポテンシャル	6-6
6.4	地下水涵養施設計画	6-7
6.4.1	計画対象地域	6-7
6.4.2	地下水涵養の方法	6-7
6.4.3	ダムの放流水による地下水人工涵養量	6-7
6.4.4	地下水流速の推定	6-8
6.5	生産井戸の施設計画	6-9
6.5.1	揚水施設の規模、位置	6-9
6.5.2	揚水可能量の推定	6-9
6.5.3	井戸タイプ、構造	6-9
6.5.4	一本当りの井戸の揚水量	6-9
6.5.5	井戸の適正配置	6-10
6.5.6	揚水ポンプ	6-10
第七章	水質分析	7-1
7.1	概論	7-1
7.2	生活用水	7-1
7.2.1	水質基準	7-1
7.2.2	水質分析結果	7-1
7.2.3	考察及び結論	7-3
7.3	灌漑用水	7-3
7.3.1	水質基準	7-3
7.3.2	水質分析結果	7-4
7.3.3	考察及び結論	7-5
7.4	牧畜用水	7-5
7.4.1	水質基準	7-5
7.4.2	水質分析結果	7-6
7.4.3	考察及び結論	7-7

第八章	ランドサット(LANDSAT) データ解析	8-1
8.1	目 的	8-1
8.2	実施された調査及び解析	8-1
8.3	基礎図の作成及び解析結果	8-1
8.3.1	LANDSAT フォールスカラー画像	8-1
8.3.2	土地利用図	8-2
8.3.3	冠水区域想定図	8-4
8.3.4	表層地質図	8-4
8.3.5	地表含水状況図	8-6
8.3.6	傾斜区分図	8-7
第九章	社会・経済	9-1
9.1	概 論	9-1
9.2	スタディ対象地域内の社会・経済的な現状	9-1
9.2.1	概 論	9-1
9.2.2	政府開発方針及びその開発優先順位	9-1
9.3	経済活動	9-2
9.3.1	概 論	9-2
9.3.2	農 業	9-2
9.3.3	牧 畜	9-3
9.3.4	観 光	9-3
9.3.5	その他の産業	9-3
9.4	社会基盤	9-4
9.5	人口分布及び予測	9-4
9.5.1	概 論	9-4
9.5.2	現在の人口の推定	9-4
9.5.3	人口増加の傾向	9-5
9.5.4	将来人口の予測	9-5
9.6	土地利用の現況	9-6
9.6.1	概 論	9-6
9.6.2	耕作地域	9-6
9.6.3	土地所有権及び水利権	9-7
9.7	作付形態	9-8
9.7.1	概 論	9-8
9.7.2	作付密度	9-8
9.7.3	収穫量	9-9

9.8	灌漑用水需要	9-10
9.8.1	概論	9-10
9.8.2	用水需要量	9-10
9.9	牧畜用水需要	9-11
9.10	生活用水需要	9-11
9.10.1	現状	9-11
9.10.2	用水需要量	9-12
第十章	基本計画の策定	10-1
10.1	水資源ポテンシャル	10-1
10.1.1	表流水ポテンシャル	10-1
10.1.2	地下水開発ポテンシャル	10-2
10.2	開発可能なダム地点の検討	10-2
10.2.1	概論	10-2
10.2.2	開発可能なダム地点の選定	10-3
10.2.3	地形及び地質	10-3
10.2.4	各ダム地点の予備的な評価	10-4
10.2.5	各ダム地点の二次評価	10-5
10.3	基本計画の策定	10-6
10.3.1	調査対象地域における経済開発の展望	10-6
10.3.2	基本計画の策定	10-7
第十一章	ダムの基本設計	11-1
11.1	Timkitダム	11-1
11.1.1	ダム型式の選定	11-1
11.1.2	ダム諸元	11-1
11.1.3	安定性の検討	11-3
11.1.4	洪水吐	11-7
11.1.5	放流工	11-9
11.2	Oukhitダム	11-13
11.2.1	ダム型式の選定	11-13
11.2.2	ダム諸元	11-13
11.2.3	安定性の検討	11-15
11.2.4	洪水吐	11-19
11.2.5	放流工	11-21

11.3	Oulhouダム	11-25
11.3.1	ダム型式の選定	11-25
11.3.2	ダム諸元	11-25
11.3.3	安定性の検討	11-27
11.3.4	洪水吐	11-30
11.3.5	放流工	11-32
第十二章	工事費の積算及び事業実施計画	12-1
12.1	工事費の積算	12-1
12.2	事業実施計画	12-2
12.2.1	事業実施組織	12-2
12.2.2	事業の実施方法	12-3
12.2.3	施工計画	12-3
第十三章	環境評価	13-1
13.1	概論	13-1
13.2	Timkitダムの環境評価	13-2
13.2.1	基本概念	13-2
13.2.2	環境へのインパクト	13-2
13.2.3	マイナス効果への対策	13-2
13.2.4	結論	13-3
13.3	Oukhitダムの環境評価	13-3
13.3.1	基本概念	13-3
13.3.2	環境へのインパクト	13-3
13.3.3	マイナス効果への対策	13-4
13.3.4	結論	13-4
13.4	Oulhouダムの環境評価	13-4
13.4.1	基本概念	13-4
13.4.2	環境へのインパクト	13-4
13.4.3	マイナス効果への対策	13-4
13.4.4	結論	13-4
第十四章	経済評価	14-1
14.1	概論	14-1
14.2	評価の方法	14-1
14.2.1	概論	14-1
14.2.2	評価の方法	14-1

14.3	Timkitダムの評価	14-4
14.3.1	概論及び目的	14-4
14.3.2	社会・経済的背景	14-4
14.3.3	経済評価	14-5
14.4	Oukhitダムの評価	14-6
14.4.1	概論及び目的	14-6
14.4.2	社会・経済的背景	14-7
14.4.3	経済評価	14-7
14.5	Oulhouダムの評価	14-8
14.5.1	概論及び目的	14-8
14.5.2	社会・経済的背景	14-8
14.5.3	経済評価	14-9
第十五章	支援業務	15-1
15.1	水利総局の役割	15-1
15.2	国際協力事業団供与の資機材	15-1
第十六章	結 論	16-1

表 目 次

		頁
表 4. 1	計画ダムサイト一覧表	T - 1
表 4. 2	レリス盆地内雨量観測所での年雨量記録	T - 2
表 4. 3	Tadighoustでの月雨量記録	T - 3
表 4. 4	日平均蒸発量の記録	T - 4
表 4. 5	日平均気温の記録	T - 5
表 4. 6	日平均風力と風向の記録	T - 6
表 4. 7	年最大洪水流量ピーク	T - 7
表 4. 8	年平均流量	T - 8
表 4. 9	Tadighoustでの月平均流量記録	T - 9
表 4. 10	Tadighoustでの浮遊砂記録	T - 10
表 4. 11	可能 1 日 / 3 日雨量	T - 11
表 4. 12	流域の貯留関数	T - 12
表 4. 13	河道の貯留関数	T - 13
表 4. 14	ワルザザート (ドラ川) 流域の既設・計画ダム諸元	T - 14
表 4. 15	各ダムの所要貯水容量	T - 15
表 4. 16	ワルザザート (ドラ川) 流域の流量観測所流量諸元	T - 16
表 4. 17	耕作面積一覧表	T - 17
表 5. 1	各ダムサイトの地形、地質の概況 (1/5) ~ (5/5)	T - 18
表 6. 1	簡易揚水試験結果	T - 23
表 7. 1	水質試験項目	T - 24
表 7. 2	水質試験結果 (IN-SITU)	T - 25
表 7. 3	水質試験結果 (LABORATORY)	T - 26
表 7. 4	WHOの飲料水適用基準	T - 27
表 7. 5	JISの飲料水適用基準	T - 27
表 7. 6	飲料水の適性検査結果	T - 28
表 7. 7	灌漑用水適用基準	T - 29
表 7. 8	灌漑用水の分類	T - 30
表 7. 9	灌漑用水の適性検査結果	T - 31
表 7. 10	牧畜用水適用基準	T - 32
表 7. 11	牧畜用水の適性検査結果	T - 33

表9.1	レリス盆地内の推定人口	T-34
表9.2	レリス盆地内の人口予測	T-35
表9.3	地域別耕作面積	T-36
表9.4	作物別の用水価値	T-36
表9.5	月別、年別の作付密度	T-37
表9.6	推奨される月別作付密度	T-37
表9.7	プロジェクト実施前、実施後の単位収穫量	T-38
表9.8	月別、年別の純灌漑用水量	T-38
表9.9	月別、年別の総灌漑用水量	T-39
表9.10	月別、年別の総灌漑用水需要量	T-39
表9.11	レリス盆地内の給水現況	T-40
表9.12	レリス盆地内の井戸、湧泉、ホッタラの数量一覧表	T-40
表9.13	地域別給水施設の概要	T-41
表9.14	西暦2020年時点での一人当り給水量の予測	T-42
表9.15	年次別最大、最小給水量の予測	T-42
表9.16	年次別給水量の予測	T-42
表9.17	地域別、年次別の生活用水量の予測	T-43
表10.1	各ダムサイトの総合評価 (1/2)～(2/2)	T-44
表10.2	各ダムサイトの技術的評価一覧表 (1/2)～(2/2)	T-46
表12.1	緊急ダムの総工事費一覧表	T-48
表12.2	Timkitダム (No.16) 直接工事費内訳	T-49
表12.3	Oukhitダム (No.28) 直接工事費内訳	T-50
表12.4	Oulhouダム (No.29) 直接工事費内訳	T-51
表12.5	主要建設機械一覧表	T-52
表13.1	Timkitダム環境影きょう評価チェックリスト	T-53
表13.2	Timkitダム環境影きょう評価マトリックス	T-54
表13.3	Oukhitダム環境影きょう評価チェックリスト	T-55
表13.4	Oukhitダム環境影きょう評価マトリックス	T-56
表13.5	Oulhouダム環境影きょう評価チェックリスト	T-57
表13.6	Oulhouダム環境影きょう評価マトリックス	T-58

表14.1	Okhith集落での一戸当り家畜保有数	T-59
表14.2	家畜の市場価格(1989年)	T-59
表14.3	Tinejdadの耕作面積及び用水取水の現況	T-60
表14.4	Timkitダム直下流域の現況(人口、耕作地、果樹数等)	T-60
表14.5	Timkitダムの経済評価	T-61
表14.6	Okhithダムの経済評価	T-62
表14.7	Oulhouダムの経済評価	T-62
表15.1	国際協力事業団供与の調査資機材(1/2)~(2/2)	T-63

目 次

- 図1.1 調査のジェネラルフロー
- 図1.2 パート“ A ”作業の流れ図（資料収集および補足調査）
- 図1.3 パート“ B ”作業の流れ図（基本計画の策定）
- 図1.4 パート“ C ”作業の流れ図（緊急計画の策定）
- 図1.5 作業工程表
- 図1.6 調査団要員計画

- 図4.1 雨量、水位、流量観測位置図及びレリス盆地の等雨量線図
- 図4.2 高水解析のフローチャート
- 図4.3 低水解析のフローチャート
- 図4.4 雨量記録の利用可能性
- 図4.5 水位、流量記録の利用可能性
- 図4.6 時 間 雨 量
- 図4.7 降 雨 累 加 曲 線
- 図4.8 計画時間雨量のパターン
- 図4.9 河川システムダイヤグラム
- 図4.10 流 域 分 割 図
- 図4.11 流域、河道モデル
- 図4.12 レリス川水位（1979年10月17日洪水時）
- 図4.13 河 道 流 下 能 力
- 図4.14 下流河道のS-Qカーブ（1/2）～（2/2）
- 図4.15 一次流出率と飽和雨量
- 図4.16 Tadighoustの実測、計算ハイドログラフ
- 図4.17 高水流量ピークの比較
- 図4.18 基本高水流量配分
- 図4.19 実測流量と計算流量（1/2）～（2/2）
- 図4.20 既存耕作地とポテンシャル
- 図4.21 洪水調節計画規模（堤防案）
- 図4.22 堤防による洪水調節計画案（1/2）～（2/2）
- 図4.23 ダム及び下流受益地の概略位置図（1/2）～（2/2）
- 図4.24 最適貯水容量（Timkitダム）
- 図4.25 貯水池使用計画日数
- 図4.26 洪水吐に対する設計洪水ハイドログラフ（1/2）～（2/2）

- 図 5. 1 3 ダムサイトで感じた地震
- 図 5. 2 Timkitダムサイト調査位置図及び地質平面図
- 図 5. 3 Timkitダムサイト地質断面図
- 図 5. 4 Oukhitダムサイト調査位置図及び地質平面図
- 図 5. 5 Oukhitダムサイト地質断面図
- 図 5. 6 Oulhouダムサイト調査位置図及び地質平面図
- 図 5. 7 Oulhouダムサイト地質断面図
- 図 5. 8 Timkitサイトの原石山、砂利採取位置図
- 図 5. 9 Oukhitサイトの原石山、砂利採取位置図
- 図 5.10 Oulhouサイトの原石山、砂利採取位置図
- 図 5.11 Timkitサイトのルジオンマップ

- 図 6. 1 水理地質構造概念図
- 図 6. 2 地下水コンタ図（河川堆積層）
- 図 6. 3 地下水コンタ図（ジュラ紀、白亜紀層）
- 図 6. 4 電気伝導度コンタ図（河川堆積層）
- 図 6. 5 電気伝導度コンタ図（ジュラ紀、白亜紀層）
- 図 6. 6 PH（河川堆積層）
- 図 6. 7 PH（ジュラ紀、白亜紀層）
- 図 6. 8 簡易揚水試験実施地点
- 図 6. 9 年代測定実施地点
- 図 6.10 ヘキサダイアグラム
- 図 6.11 パイパアダイアグラム
- 図 6.12 水理地質区分図
- 図 6.13 井戸構造図
- 図 6.14 一本当りの井戸の揚水量（定常流）

- 図 7. 1 サンプル水の採取地点位置図
- 図 7. 2 灌漑用水の適性区分図

- 図 8. 1 ランドサット (LANDSAT) データ解析フローチャート
- 図 8. 2 デジタル・イメージ解析システム図

- 図10.1 ダムサイト位置図
図10.2 レリス盆地の模式的な地質構造図
図10.3 各ダムサイトの横断図(1/4)～(4/4)
図10.4 各ダムの貯水池容量曲線(1/4)～(4/4)
- 図11.1 Timkitダムの貯水池容量曲線
図11.2 Oukhitダムの貯水池容量曲線
図11.3 Oulhouダムの貯水池容量曲線
図11.4 Timkitダム (No.16) 一般平面図
図11.5 Timkitダム (No.16) 立面図 (上流面)
図11.6 Timkitダム (No.16) 立面図 (下流面)
図11.7 Timkitダム (No.16) 一般構造図 (非越流部)
図11.8 Timkitダム (No.16) 一般構造図 (越流部)
図11.9 Oukhitダム (No.28) 一般平面図
図11.10 Oukhitダム (No.28) 立面図
図11.11 Oukhitダム (No.28) 一般構造図
図11.12 Oulhouダム (No.29) 一般平面図
図11.13 Oulhouダム (No.29) 立面図
図11.14 Oulhouダム (No.29) 一般構造図
- 図12.1 事業実施組織図
図12.2 Timkitダム (No.16) 工事実施工程表
図12.3 Oukhitダム (No.28) 工事実施工程表
図12.4 Oulhouダム (No.29) 工事実施工程表
- 図13.1 Timkit貯水池平面図
図13.2 Oukhit貯水池平面図
図13.3 Oulhou貯水池平面図
- 図14.1 Touroug 地区の耕作地位置図

第一章 序 論

1.1 プロジェクトの背景

1) モロッコ王国は独立以来これまで食料の自給自足及び生活、工業用水の確保に多大な努力を払って来た。この目的の達成のために西暦2000年までの間、毎年1ヶの大ダムそれに15ヶの小規模のダムを建設して賦存の水資源を最大限に有効利用する方策を明らかにした。これに必要な水資源の調査及び開発方法の研究が待たれている。

公共事業省の水利総局（AH）はこの方策の一環としてモロッコ王国の中央部の東側に位置するレリス盆地内に中・小規模のダム群の建設の為のスタディを実施することになった。これらダム群の建設により、洪水防御や灌漑用水及び生活用水の安定的な供給を可能ならしめ民生の安定を目指している。

レリス川流域では極所的な集中豪雨により、これまで度々洪水に見舞われている。中でも1966年の洪水は既往最大でTadighoust地点で3,134 m³/sのピーク流量を記録した。

1982年の人口センサスによれば、レリス盆地内の人口は約167,000人と推定されている（Rissaniの一部を含む）。人口が多く集まっている村落としては、Tinerhir、Goulmima、Tinejdad、Jorf、FeznaそれにMellaab等がある。レリス盆地内での主たる産業は農業と牧畜である。

限られた水資源の開発及び有効利用により、

- 約5,200haの灌漑
- 牧畜用水供給場の建設
- 住民への生活用水の供給
- 洪水による被害の軽減

等が期待されている。

2) この目的の達成のためモロッコ王国政府は日本国政府に対して技術協力援助を要請して来た。これにこたえて日本国政府はレリス盆地ダム建設計画調査を実施することになった。日本国の技術協力援助機関である国際協力事業団（JICA）はモロッコ側のカウンターパート機関となる公共事業省水利総局（AH）とスタディの詳細を打合せするために、1988年7月にS/Wミッションを現地へ派遣した。協議の結果、作業の実施方針及び方法についてJICAとAHは合意に達し1988年8月5日議事録の調印が行なわれた。

国際協力事業団はその後スタディ・チームを組織し、また調査に必要な資機材の調達を行なった。日本をはじめ外国のコンサルタントからなるスタディ・チームは1988年12月中旬に現地入りし、早速諸調査に着手した。現地到着後スタディ・チームは水利総局に作業実施の方針を説明し、その後協議の結果、一部の内容を修正してインセプション・レポートを水利総局に提出した。

3) インセプション・レポートの中で記述されている作業内容は大別してパート“A”作業、パート“B”作業それにパート“C”作業に分けられる。その概要を示すと下記の通りである。

パート“A”作業 : 資料収集および補足調査
- 国内事前準備
- 現地踏査
- 資料収集および整理分析
- 補足調査

パート“B”作業 : 基本計画の策定
- 河道通水能検討
- 高水解析
- 治水計画
- 低水解析
- 地下水調査計画
- 可能ダムサイトの選定
- 水需要予測
- 水資源ポテンシャル
- 利水計画
- 基本計画

パート“C”作業 : 緊急計画の策定
- 地形図作成
- 地質調査(物理探査、ボーリング)
- 治水、利水効果の確認
- ダム諸元の決定
- ダムの概略設計
- 地下水涵養及び利用施設の概略設計
- 環境調査
- 緊急計画の評価

調査のジェネラル・フローを図1.1に、またパート“A”作業、パート“B”作業およびパート“C”作業のフローを図1.2～1.4に示している。

1.2 調査作業

モロッコ国内での調査作業は二時期に分けて実施された。一次調査は1988年12月より1989年3月まで、二次調査は1989年7月から10月にかけて行なわれた。この現地での調査作業以外にも、調査で得られた諸情報を基に種々の解析作業が東京で断続的に実施された。全体の作業工程を図1.5に示す。

現地での調査作業は一部のものを除いてほぼ当初の予定通り消化することが出来た。Timkitダムサイトでの地質調査を実施していた1989年10月1日に小洪水が発生しボーリング機械が水没した為に作業が数日中断したが、スタディ・チームが現地を離れる10月末までには全ての作業が完了した。

1.3 作業の成果

1988年12月の作業開始より1990年3月末までの約16ヶ月間の諸調査ならびに解析作業の成果はその都度報告書にとりまとめられ、水利総局（AH）にその内容を説明の上提出された。これらの報告書類は以下の通り。

<u>報告書名</u>	<u>提出年月</u>
1. インセプション・レポート	1988年12月
2. プログレス・レポートNo.1	1989年4月
3. インテリム・レポート	1989年8月
4. プログレス・レポートNo.2	1989年11月
5. ドラフト、ファイナル・レポート	1990年2月
6. ファイナル・レポート	1990年3月

本報告書は前述のパート“A”作業、パート“B”作業およびパート“C”作業を通じて得られた成果をとりまとめた最終報告書である。

これはマスタープラン・スタディにより選定された合計3ヶ所の緊急ダム計画の基本設計までを示すものである。今後これらの緊急ダム計画を実施にもっていくには、更に詳しい現地での諸調査ならびに詳細設計を行い本スタディで十分に解明できなかった問題点を明らかにし、これに必要な対策を講じなければならない。

1.4 調査作業への参加者

調査作業に参加した水利総局のカウンターパートおよびJICAスタディ・チームのエンジニア/スペシャリストは下記の通り。

1) 水利総局カウンターパート

担 当	氏 名
<u>Rabat Office</u>	
Chef du projet	MR. Mahfoud
Hydrologie	MR. Benabdelfadil
Géologie	MR. Fatih
-ditto-	MR. Nassouh
Geotechnique	Mme. Ouarak
Conception des ouvrages	MR. Mohammadi
-ditto-	MR. Dirbar
Planification des eaux	MR. Oubalkace
-ditto-	MR. Saidi
<u>Errachidia Office</u>	
Directeur	MR. EL Yahyaoui Mohamed
Hydrogéologie	MR. Koussair Abdelhak
Hydrologie	MR. Chadad Abdezzahid
Hydrogéologie	MR. Marzouk Mohamed
Hydrogéologie	MR. Belmatrik
Planification des laboratoire	MR. Naciri My Seddik

2) J I C A スタディ・チーム

担 当	氏 名
総 括	津 田 誠
ダム計画 (副総括)	井 上 清 紘
水文水理	嶋 野 靖
ダム地質	鈴 村 忠 雄
地質調査指導	魚 谷 信
水質分析/環境/水需要	スハイル・スルール
水文地質	富田 ゆきし
ダム設計	村 山 宗 久
施工・積算	神 谷 俊 夫
測 量	高 岡 淳 朗
地域経済/プロジェクト評価	ビクター・ジェブド・クマール
土地利用/リモート・センシング	平野武彦/堀部 晋
通 訳	ジャン・クロード・ムユボ・ロウエ

第二章 収集した基礎資料

2.1 資料の入手先

モロッコ全国レベルの基礎資料類、例えば地形図、地質図、社会・経済統計等の多くは、公共事業省、住宅・福祉、教育、鉱物省等の中央政府事務所から入手した。

一方、地方レベルの詳細な資料類の多くは内務省の管轄下にある県庁、水利局地方事務所、また公共事業省のエルランディア事務所等から収集した。さらに詳細な資料はデータシートやインタビュー調査を通じ、調査対象地域内の市町村から収集した。

また1988年7月に現地を訪れた国際協力事業団のS/Wミッションが収集した諸資料もスタディ・チームが譲り受け、調査作業に役立てた。

2.2 地図と航空写真

調査対象地域の全体をカバーする縮尺10万分の1、および50万分の1の地形図を入手した。しかし、縮尺5万分の1の地形図はGoulmima周辺の一部の地域のみしか無く、他地域のものは未作成あるいは作成中とのことで入手出来なかった。

地質一般図については調査対象地域の全体をカバーする縮尺50万分の1、それに80%の地域をカバーする縮尺25万分の1のものを入手した。

また合計 918枚におよぶ調査地域全域をカバーする約4万分の1縮尺の航空写真も入手した。

これらの地形図、地質図および航空写真はレリス盆地内での諸調査や踏査のために活用された。

2.3 気象、水分資料

1) 気象資料

調査対象地域であるレリス盆地内あるいはその周辺には合計27ヶ所の気象観測所がある。これら27ヶ所の日雨量記録は利用可能であるが、そのうち10ヶ所の記録は不完全であり、短い期間のみカバーされている。レリス盆地のほぼ中央に位置するTadighoustの月平均雨量の分布では、最小値は6月の0.4mm、最大値は10月の23.1mmとなっている。

上記資料のもとに作成された調査対象地域の等雨量線図によると、北側のアトラス山間部での年平均雨量は 200~300mm、下流平坦部では150mm 以下、さらに南側では50mmまで低減することがわかる。

日蒸発量はTadighoust、Ait Bouijane、Tirga それに Erfoud Radierの 4ヶ所の観測所でのデータが利用可能である。年総蒸発量の最大値は Erfoud Radierの4,344mm で、最小値は Tirgaでの2,592mm となっている。

日平均気温の記録は、上述の 4ヶ所の観測所で利用可能である。これまでに記録された最低気温は Tirgaで 6.6℃ (1月)、最高気温は Erfoud Radierで33.6℃ (8月) となっている。

月平均風速はTadighoustで 1.4~3.0m/sである。風向は年間を通じてTadighoustで東風または北東風なのに対し、Ait Bouijaneでは西風または東風の変化を示している。

2) 水文資料

調査地域内には合計10ヶ所の水位流量観測所がある。そのうち6ヶ所はレリス川本川、3ヶ所は支流のトドラ川、そしてもう1ヶ所は支流イフェール川にある。しかしながら Tirga、Taria、El Haroun、Megta Sfa、Ifer、それにFerklaの6ヶ所は洪水時の水位記録しか存在しない。1978年に観測を開始したトドラ川のTinejdadの近くにあるMaroutchaでは多くの欠測を含んだわづか8年間の記録しかない。それ故、低水解析に利用可能な記録はレリス川にあるTadighoustとHamida、それにトドラ川にあるAit Bouijaneの3ヶ所の観測所から入手しなければならない。

これらの観測所では、平均して月一回程度の流量観測を実施している。また洪水時には頻繁に測定を実施している。作成されたH-Qカーブは日平均水位から日平均流量に換算されるため、回帰式で表現されている。これらのデータは十分にチェックする必要がある。

2.4 地下水資料

JICAスタディ・チームは水利総局より下記の基礎資料を入手した。

- 1) 観測井戸のインベントリー及び水位記録 (121本)
- 2) 観測井戸の位置図 (80本)
- 3) 調査地域内の深井戸のインベントリー (195本)

- 4) 揚水試験の結果 (16本)
- 5) 調査地域内のホッタラのインベントリー (90ヶ所)
- 6) Goulmima周辺での井戸水使用状況 (279本)
- 7) モロッコの水資源 (南アトランティック地域、1977年版)
- 8) モロッコの歴史的地質層序 (1950年版)

観測井戸での水位観測は1951年から始まり、現在 121本の井戸に対して観測が継続されている (GoulmimaやErfoudのモスク内にある 112本の浅井戸、および9本の深井戸)。水位観測は月平均一回の割合で実施されている。

2.5 地震の資料

調査対象地域内での地震に関する記録は1901年から1980年までの合計 1,518回が入手出来た。そのうち約 400イベントの記録によりダムの設計に考慮されるべき地震係数を判定した。

2.6 LANDSAT データ

LANDSATデータはMSSのCCT (Computer Compatible Tape: 計算機適合テープ) データを主としてイタリア受信局 (EARTHNET) から入手した。CCT データの検索にあたっては、乾期、雨期、洪水期の3時期とし、曇量が少なく画質の最適なものを選定した。

2.7 社会・経済資料

全国レベルの包括的な社会・経済資料は、ほとんどが計画省で発行された下記の刊行物の中に見いだすことが出来た。

- 1) モロッコの統計年鑑 (1988年版)
- 2) 人口センサス (1971年、1982年)
- 3) 人口と社会・経済の特徴 (1982年版)
- 4) モロッコの人口統計学的トレンド及び分析 (1986年版)

一方、エルランディア県を中心とする地域レベルでのデータとしては下記のものが収集された。

- 1) エルランディア県の統計 (1988年版)
- 2) 教育・農業の運営計画と人口データ

- 3) 伝統工芸のセンサス (1986年版)
- 4) 統計論文集 (1987年版)
- 5) レリス川、ジズ川流域の水供給の一般現況 (1988年版)
- 6) 飲料水の調査報告書
- 7) ダムの水管理に関する研究 (1982年版)
- 8) エルラシディア県における中、小ダムのインベントリー調査 (1987年)
- 9) 水資源および農業のインフラストラクチャーに関する調査報告書 (1987年)

レリス盆地に関する上記データを吟味した後、それらデータのチェック、確認そして欠測データの補間のために現地踏査が実施された。

第三章 現地踏査及び追加調査の概要

3.1 現地踏査

3.1.1 概 論

国際協力事業団は6名の専門家からなるスタディ・チームを1988年12月16日よりモロッコ王国に派遣、スタディ・チームは現地到着後ただちに各専門分野での調査作業を開始した。約1ヶ月かけて調査対象地域であるレリス盆地(14,500km²)の主要地域を踏査した。レリス川は下流でその流れを南にかえズ川と並行しながらサハラ砂漠へ消えている。この両河川にはさまれた地域はErfoud及び Rissaniを中心とした人口稠密地でかつ耕地面積も多い。この両河川の集水域界が平坦地のため明確でなく、かつこの地域では水利用の面から見て密接な関係があると判断されるので、この地域の踏査も実施した。この第一次現地踏査は調査対象地域の現況を把握することに主眼を置いた。地形、地質、土地利用、運輸・通信、自然・社会環境その他の諸情報の収集に努めた。事前のマップ・スタディ及び現地踏査により先ず28ヶ地点の開発可能と思われるダムサイトを選び、その後のスタディにより更に4ダムサイトが追加され、結局合計32ヶ地点のダムサイトが今後のスタディの対象となった。

第一次の現地踏査により得られた諸情報を検討したのちに、第二次の現地踏査を1989年1月中旬より開始した。スタディ・チームの第二陣として5名の専門家が1989年1月10日より現地踏査に参加し、この第二次現地踏査は3月中旬まで継続された。

JICAスタディ・チームは1989年3月末に帰国し、第一次、第二次の現地踏査により入手した諸情報及び検討結果を踏えて、各分野での解析作業を引き続き行った。国内作業は1989年4月から6月にかけて行われ、スタディ・チームは7月より再度モロッコ入りし、諸調査を再開した。この諸調査と解析作業は並行して行われ1989年10月までに予定通り完了した。この間、水利総局側はJICAスタディ・チームに対し近年の旱魃により大きな被害をうけているレリス川中、下流域のTinejdad、Mdllaab、Jorf/Pezna、及びTafilalet地域への水供給を最優先するダム開発を考慮して欲しいと要望した。これに答えるべくJICAスタディ・チームは、これまでの32地点のダムサイト以外にも開発可能なダムサイトがないかタルダ川の上流域、それにトドラ川中流域の支流付近を水利総局のエンジニアと一緒に追加踏査した。タルダ川の一地点、それにトドラ川支流で3地点の現場踏査を行ったが、結局開発有望なダムサイトは見当らなかった。どのダムサイトも平坦地にありダム堤長がかなり大きくなり貯水効率が極めて悪いと判断された。

3.1.2 踏査項目の内容

現場踏査及びこれに係る諸調査は下記のもので、技術的かつ社会・経済的な諸情報の入手を目的とするものである。

- 32ダム地点の地形、地質及び用水供給可能な地域の踏査
- LANDSAT データ解析のために必要な現地情報の入手
- 地域内にある井戸を利用した地下水位の調査
- 現場浸透能試験
- 地下水の存在及びその水位を把握するための電気探査
- 地域内の井戸、川、泉、ホッタラから採取したサンプルの水質分析
- 2基の雨量計の設置
- 2基の地下水位計の設置
- 社会・経済及び環境に関する諸情報、データ類の収集

3.2 実施した追加調査

3.2.1 概 論

現地踏査により得られた諸情報ならびに解析作業の結果に基づいて、必要とされる追加調査のプログラムが作成された。追加調査は地形測量、地質調査、物理探査等で現地の業者に委託して行われ、JICAスタディ・チームの専門家が作業の監督を行った。

第一次の追加調査はレリス盆地内の主要4河川での河川縦、横断測量、それに25ダム地点での横断測量で1989年1月から3月にかけて実施された。第二次の追加調査は開発有望な緊急ダム案件として選定された3ダム即ちTimkitダム、Dukhitダム及びOulhouダムのダムサイトそれに貯水地域での地形測量、ボーリング、透水試験等の地質調査、それに物理探査で、これらの諸調査は1989年8月から10月にかけて実施された。

3.2.2 追加調査の内訳

1) 地形測量（第一次）

レリス盆地内の主要4河川、即ち、レリス川、タルダ川、トドラ川及びタンガルファ川の河川縦、横断測量、それに合計25ダムサイトでの横断測量からなる。32ダムサイトのうち7ダムサイトは現地踏査により、地形、地質、用水供給効率等の面から開発が期待薄であるとの判断により棄却された。河川縦、横断測量の数量は次の通りである。

a) 河川縦断測量

(単位：km)

河川名	測 量 延 長		
	実測長	計画長	増減
1. レリス川	128	125	+ 3
2. タルダ川	39	40	- 1
3. トドラ川	106	90	+ 16
4. タンガルファ川	45	45	± 0
合 計 :	<u>318</u>	<u>300</u>	<u>+ 18</u>

b) 河川横断測量

河川名	断面数 (Nos.)	横断測量 総延長 (km)	平均幅 (m)
1. レリス川	126	52	412
2. タルダ川	39	17	436
3. トドラ川	116	19	164
4. タンガルファ川	55	14	255
合 計 :	<u>336</u>	<u>102</u>	<u>304</u>

2) 地形測量 (第二次)

緊急ダム案件として選定されたTimkitダム、Oukhitダム及びOulhouダムの3ダムサイト及び貯水池域内の地形測量は1989年8月から10月にかけて実施され、その数量は以下の通りである。

測量項目	数 量
1. 地形測量	
- ダムサイト (縮尺: 1/500)	75 ha
- 貯水池 (縮尺: 1/5000)	18 km ²
2. 水準測量	50 km
3. トラバース測量	50 km
4. ベンチマークの設置	6 points
5. ポストの設置	6 points

3) 地質調査

上記3ダム地点での地質調査も1989年8月から10月にかけて実施された。数量は以下の通り。

ダムサイト名	物 理 探 査	コアボーリング	有孔管の設置
1. Timkit	6 測線、1192m	3 孔、 115m	15m
2. Oukhit	7 測線、1966m	3 孔、 71m	10m
3. Oulhou	7 測線、1842m	3 孔、 70m	15m
合 計	20測線、5000m	9 孔、 256m	40m

各追加調査を実施した現地業者からの報告書ならびに図面、写真等はデータ集として別途まとめてある。

第四章 気象・水文解析

4.1 調査の目的

本調査の目的は、計画ダムサイトを用水供給および洪水防御の有効性の観点から評価するため、調査地域の気象・水文状況を明らかにして流域の利水・治水基本計画を立案する事を目的とする。計画ダムサイトのリストを表4.1に、流域の位置図を図4.1に示す。水文解析として、高水解析及び低水解析の調査手順を図4.2と図4.3に示す。

4.2 収集したデータ

4.2.1 気象データ

(1) 雨 量

調査地域内及び近傍には、27ヶ所の雨量観測所が存在する。これらの位置図とデータの利用可能性を図4.1、図4.4に示す。図4.1に示す年雨量から算定した等雨量線図は、年平均雨量が平地で100mm から150mm、山地で200mm から300mm に変化していることを示している。各観測所の年雨量を表4.2に示す。表4.3に示すレリス川の中央に位置するTadighoustにおける平均雨量は、6月で0.4mm、10月で23.1mmと変化している。

(2) 蒸 発 量

“バック”で観測された年蒸発量は、表4.4に示すようにTadighoustで2,957mm、Ait Bouijaneで3,139mm、Tirga で2,582mm、そしてErfoudで4,344mmとなっている。

(3) 気 温

表4.5の月平均気温は、Tadighoustで、1月に9.1℃、8月に30.7℃となっている。

(4) 風力・風向

表4.6に示される風力は、Tadighoustで12月に1.5m/s、6月に2.5m/s、Ait Bouijaneでは同じく12月に1.6m/s、6月に3.2m/sとなっている。風向は、Tadighoustで、1月から8月まで東風または北風、9月から12月までは東風、Ait Bouijaneでは、年間を通じて東風が支配的で、ときどき西風となっている。

(5) その他の気象データ

相対湿度や日照時間といったその他の気象データは、流域内及び近傍では利用不可能となっている。

4.2.2 水文データ

(1) 高水流量

年最大洪水流量ピークが、表 4.7 に示されている。Tadighoustでの記録最大洪水流量ピークは、1965年11月の $3,134\text{m}^3/\text{s}$ となっている。

(2) 低水流量

Tadighoust、Ait Bouijane、HamidaそしてMaroutcha の日平均流量を収集した。年平均日流量を表 4.8 に示す。また、Tadighoustの月平均流量を表 4.9 に示す。水位記録と流量観測記録の利用可能性を図 4.5 に示す。

(3) 堆 砂

Tadighoustの浮遊砂データを表 4.10 に示す。

4.3 水文解析

4.3.1 高水解析

(1) 降雨解析

雨量観測所地点の確率日雨量及び3日雨量を生起確率解析により求めた。流域の大きさと洪水到達時間を考慮して、3日雨量は流域全体に、1日雨量は計画ダムサイトの高水流量を算定するために用いた。表 4.11 に示す通り、Tadighoust地点の1/25確率3日雨量は108mm、Ait Bouijane地点では100mm、Hamida地点では75mmとなった。この表から、レリス川流域の上流の確率3日雨量は100mm から110mm、下流では70mmから75mmとなっている事が推察される。

雨量の時間分布パターンを検討した。計画時間雨量のパターンは、時間雨量の記録からそのパターンが得られる事が出来ないと判断されたため、一般的に用いられる中央型と仮定した(図 4.6 参照)。

1日雨量に対する計画時間雨量パターンは、図4.7から得られ図4.8に示す通りである。

(2) 流域・河道システムモデル

コンピュータを用いて計算される高水流量のために必要なツールとなる流域と河道システムモデルが作成された。そのモデルは流域や河道といった高水流量のメカニズムとなる全ての要素を含んでいる。

河川システムダイアグラム、流域分割及び河川システムモデルは図4.9、図4.10そして図4.11に示されている。図4.11に見られるように、流域は60の小流域に分割されている。

河川システムモデルを構築するために、1979年10月17日洪水の水位を不等流計算により算定した。粗度係数は0.03と仮定した。算定された水位は図4.12に示すように、HamidaとGoulmimaにおける記録やインタビューによる水位と比較した。この図から判断して、この河川システムモデルは妥当であると思われる。河道の流下能力は、図4.13に示すようにこのモデルをもとに算定され、また図4.14に示すように下流河道の貯留量-流出量曲線（S-Qカーブ）が、このモデルから得られた。

(3) 高水モデル

高水流量データの利用可能性から判断して、高水解析は雨量データを高水流量シミュレーションモードへ適用する事によって行った。貯留関数モデルが、一般的に用いられ、かつデータの利用可能性から適当と判断されるシミュレーションモデルとして採用された。検討結果は、最終成果となる可能高水流量を決定するため、実測記録との比較により評価された。

貯留関数の常数（K、P）そして遅滞時間（T1）は、以下に示す式により設定した。1次流出率（f1）と飽和雨量（Rsa）は、図4.15に示すようにそれぞれ0.2、40mmとした。

$$K = a * 118.84 * I^{0.3}$$

$$P = b * 0.175 * I^{-0.235}$$

$$T1 = c * (0.047 * L^{-0.56}) \quad (\text{もし } T1 < 0 \text{ ならば } T1 = 0)$$

ここに、I : 流域の勾配

L : 河川勾配

T1 : 遅滞時間

K、P : 関数の常数

a、b、c : 係数

貯留関数の妥当性は、図4.16に示すように、Tadighoust及びAit Bouijane地点の実測ハイドログラフと計算ハイドログラフとの比較によりチェックした。それは、関数の係数a、bそしてcをトライ・アンド・エラーによって決定した事を示す。図4.16から判断して、この貯留関数は妥当であると思われた。流域と河道の貯留関数を、それぞれ表4.12、表4.13に示す。図4.17に示すように、モデルにより算定した確率1/10、1/25、1/50高水流量ピークをTadighoust、Ait Bouijane、Hamida地点において年最大流量記録から算定した確率ピークと比較した。両者は1対1で対応しており、構築されたモデルは、流域全体に対し適用可能であるものと判断された。さらに、算定されたTadighoust及びAit Bouijane地点での確率1/10洪水流量を水文特性が類似するワルザザード流域の既設・計画ダムの値と比較検討した。表4.14に示すように、年降雨量530mmを持つダムNo.6を除いたダムNo.5、7及び8の確率1/10洪水流量の比流量は、それぞれ0.41、0.92、0.22となっている。よって算定されたTadighoust (CA=2,210km²)の比流量0.27はダムNo.8 (CA=1,990km²)の値0.22と大差なく、またAit Bouijane (CA=655km²)の値0.38はダムNo.5 (CA=363km²)の値0.41とほぼ等しい事から、モデルの適用性は他の類似流域の値との比較においても妥当である事が確認された。

(4) 基本高水流量配分

レリス川の基本高水流量配分は、構築されたモデルと観測所の地点雨量を用いてホルトンの式で補正された確率流域雨量により算定された。結果を図4.18に示す。またホルトンの式は以下のとおり。

$$R_{ave} = R_p * EXP(-k * A^n)$$

但し、 R_{ave} : 流域平均雨量 (mm)
 R_p : 観測所ポイント雨量 (mm)
 k : 0.2
 A : 流域面積 (km²)
 n : 0.1

(5) 治水計画

現況の河道流下能力の検討結果より、図4.13に示すように確率1/25洪水の場合、以下の河道区間に流下能力の不足が生じた。これを防ぐため、治水効果の高い次に示す山地部のダムの組合せ三案を選び、治水計画(案)とし検討した。但し、治水計画は次の4.4節で、計画規模を経済性の観点からダムによる洪水被害軽減額とダムの建設費との比較から決定し立案する事とした。

－プランⅠ	ダム No.13 (治水容量：25.0百万 m ³)
－プランⅡ	ダム No.13 (治水容量：25.0百万 m ³) ダム No.16 (治水容量：7.4百万 m ³)
－プランⅢ	ダム No.13 (治水容量：25.0百万 m ³) ダム No.16 (治水容量：7.4百万 m ³) ダム No.19 (治水容量：6.2百万 m ³)

区間名	不足量 (m ³ /s)			
	現況	プランⅠ	プランⅡ	プランⅢ
Tadighoust → Rheris	0	0	0	0
Todrha合流点 → Tadighoust	-200	0	0	0
Tarda 合流点 → Todrha合流点	0	0	0	0
Hamida → Todrha合流点	-630	-200	-40	0
Megtasfa → Hamida	-320	-70	0	0
Todrha合流点 → Todrha川上流	-480	-480	-480	-250
Rerhis合流点 → Tanguerfa 合流点	0	0	0	0
Tanguerfa 合流点 → Tanguerfa 上流	-60	-60	0	0
Tarda → Tarda 上流	0	0	0	0

上記の結果より、プランⅢにおいても、トドラ川流域で河道流下能力の不足が生じ、その区間の堤防案を検討する必要がある事が示された。治水計画は、以上の結果を参考にし、て以降に詳しい検討を行い立案されている。

4.3.2 低水解析

(1) 降雨解析

日雨量記録の利用可能性の観点から、雨量観測所の選定を行った。流域内及び近傍の27ヶ所の観測所のうち図4.4に示すように17ヶ所の観測所が選定された。おのおのの分割流域の流域平均雨量は、等雨量線から算定された。これを表4.15に示す。

(2) 流域モデル

水収支計算のための基本モデルとなる流域モデルが、図4.11に示すように高水モデルと同じように設定された。基準地点は、主に取水地点とした。

(3) 低水スタディ

本調査でピックアップされた32ヶ所のダムサイトに流入する年平均流量（100%開発最大量）を流域平均雨量と観測所の流量記録から算出し、必要なダム貯水容量を算定した。これを表4.15に示す。次に、スクリーニングで選定された数ヶ所のダムサイトのために、タンクモデルによりダム流入量を算定した。1961年から1984年までの24年間のうち、最渇水年である1983年と確率1/2相当となる1975年の実測流量とモデルによる計算流量の比較結果を図4.19に示した。一般的に、高水期の流量がうまく再現されなかった。しかしながら、月別流量の比較値はほぼ一致するものとおもわれる。以上より、構築されたタンクモデルは妥当であると判断された。なお、タンクモデルに用いる流量観測所の流量記録はデータの利用可能性の観点からTadighoustとAit Bouijaneの2ヶ所のものを用いた。

選定されたダム地点No.16、No.28そしてNo.29に対し、それぞれのダムサイトの流入量を算定した。ダム地点No.16についてはAit Bouijaneの流量データを、No.28とNo.29についてはTadighoustの流量データを用いた。なぜなら、ダム地点No.16はトドラ川の支流に位置し水文特性が同じと考えられ、またNo.28とNo.29については、近傍に位置するアクルーズダムの記録、レリス川流域と隣接するハッサン・アダキルダムの記録及び水文特性が同じと考えられるワルザザード（トドラ川）流域に位置する既設ダム記録または計画ダム値と比較して以下の結果を得た。

- a) アクルーズダムの年流出率は0.09で、Tadighoustの値0.08とほぼ一致する。
- b) ハッサン・アダキルダムの年流出率は0.08でTadighoustと一致する。
- c) ワルザザード（トドラ川）流域の流量観測所のうち、Tadighoust流量観測所と同様な降雨量をもつ流量観測所はAmane N' TiniとImedghar N' Izdarの2ヶ所あり、両観測所の流出高は約15mmでTadighoustでの値（約16mm）とほぼ同じである（表4.16参照）。
- d) 表4.14に示すように、ワルザザード流域に位置するダム記録によると、120mm程度の年降雨量を持つダムNo.2、5、7そして8のうちNo.2を除いたダム貯水効率（貯水容量/年降雨量）は0.05となり、年流出率は0.05以上と考えられTadighoustの年流出率0.08は妥当であると思われる。

以上の結果より、選定されたダムサイトの低水スタディは妥当と判断された。

(4) 利水計画

水需要の多くを占める既存の農業耕作地を図4.20に示した。各計画ダムから耕作地への可能供給地域を表4.17に示した。耕作地の年間必要水量を7,000m³/haとした時の各ダムによる開発耕作面積を併せて示した。利水計画は、次に水収支計算をもとに詳しく検討され、ダム計画規模が決定される。

(5) 堆砂スタディ

ジズ川に位置する既設ハッサン・アダキルダムの堆砂流入量について検討した。比堆砂量は $207\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ と計算された。表4.10に示すTadighoust観測所のデータから算定された比堆砂量は、 $474.3\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ 、最大値1965年のデータを除く場合は、 $237.0\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ と算定された。これ故 $300\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ が計画比堆砂量として適当な値と考えられた。

4.3.3 補足調査

(1) 雨量観測所の設置

二つの自記雨量観測計が新しく設置された。一つは、Tinejddadから南へ約12kmに位置するTaria、もう一つは、Tinerhirから南西約29kmのImiderに設置された。これは、雨量データがこの地域に存在しないためである。収集した3月と4月の記録からは雨量がほとんど検出されず、これらの地域の雨量分布についての検討は行われなかった。

(2) 高水流量の測定

調査期間中に洪水を観測する機会は無かった。

4.4 洪水防御計画

4.4.1 基準地点

レリス川流域内に位置する主要な町は、Tinerhir、TinejddadそれにGoulmima等であるがこれらの内、過去の洪水被害から判断して洪水調節計画の基準地点として重要な町はGoulmimaと考えられる。よって、本調査ではGoulmimaを基準地点とする。

洪水防御計画は、基本的にダムによる計画を検討するが、経済的に不利と判断された場合は堤防を概略検討しレリス川流域の洪水防御計画とする。

4.4.2 確率高水流量配分

レリス川流域の確率高水流量配分は、既に前のステージで選定されており、図4.18に示すとおりである。

4.4.3 計画規模

基準地点であるGoulmima直上流地点に対し、もっとも洪水調節効果があるとおもわれるTadighoustに位置するダムNo14について洪水防御計画規模を検討した。各確率洪水毎に基準地点の現況河道流下能力を満足するようなダムの概略コストと下流氾濫地域の年平均被害想定額を算出し、利率率5%で現在価値に戻し、(B-C)を算出して比較検討した。下記に示すように、ダムNo14による洪水防御計画は経済的に不利と判断された。ただし、ダムが農業用水に寄与する場合、その内部収益率は約4%となる事が明らかになった。しかしながら、他ダムを洪水調節ダムとして検討を行っても、その不経済性は同様と考えられレリス川流域において、ダムによる洪水防御計画は妥当でないと判断された。

	洪水調節のみ			同プラス農業用水		
	25年	50年	100年	25年	50年	100年
利益 (便益-ダム費、百万DH)	-860	-910	-1100	-33	-30	-29
	(利率率 0%)			(利率率 5%)		
内部収益率 (%)	-	-	-	3.7	3.9	4.1

次に、堤防案について同様の検討を行った。図4.21に示すように、計画規模は確率50分の1が経済的に有利と判断された。よって、レリス川の洪水防御計画は堤防によるものが妥当と考えられ、その計画規模は確率50分の1となった。

4.4.4 洪水防御計画

前節で明らかのように、レリス川流域の洪水防御計画は計画規模確率50分の1に対する堤防案が妥当と考えられた。その概要を下記に、堤防区間概略位置を図4.22に示す。なお、同計画規模確率50分の1で洪水被害が発生すると思われるTinerhir下流についても同様にその堤防計画案を併せて示した。

堤防名	位置 (河川断面番号)	区間距離 (m)	土工量 (m ³)
Goulmima	Rheris No.108 → No.112	7,320	11,500
Ksar Jedid	Rheris No. 91 → No. 93	2,700	3,000
Todrha	Todrha No.103 → No.106	5,320	8,000

4.5 緊急ダム利水計画

4.5.1 概要

本スタディで緊急ダムと判断されたTimkitダム (No.16)、Oukhitダム (No.28) として Oulhouダム (No.29) について、水資源開発利水計画に関するスタディを実施した。Oukhitダム (No.28) と Oulhouダム (No.29) については、流域面積が100 km²以下で水資源が限られるため、ダム規模は最大開発が望ましいと考えられた。Timkitダム (No.16) については流域面積が約 600km²で中規模ダムのため、最大開発の他90%、80%、70%等の開発規模を想定し、経済比較を行いダム規模を決定した。利水の目的は、原則として農業用水と考えた。

4.5.2 ダム流入量

低水調査で検討されたTadighoustとAit Bouijaneで開発されたタンクモデル流量を利用し、降雨補正を行って各ダムの流入量を算定した。

4.5.3 受益地

各ダム下流に位置する受益地の凡その位置を図4.23に示した。この内、各ダム下流に位置する農業用地は以下の通りである。

ダム名	地区名	プロジェクト	
		農業用地 面積 (ha)	補償 農業用地 面積 (ha)
Timkit (No.16)	Timkit	138.0	22.0
	Tinejdad	1419.0	-
Oukhit (No.28)	Oukhit	50.0	-
Oulhou (No.29)	Touroug	70.0	-

4.5.4 水収支計算

前節で算定された各ダム流入量と下流の受益地での必要水量データを用いて水収支スタディを行った。その結果、各ダムの開発により用水供給が可能な耕地面積は、Tinejdad地区で550ha、Oukhit地区で55ha、それに Touroug地区で48haとなった。

4.5.5 水資源開発計画

前節の水収支計算の結果と以下に示す基本方針により緊急各ダムの水資源開発利水計画を立案した。

- 1) ダムの貯水池運用は一般に経年貯留を考えるが、利水安全度の見地から4-5年を貯水池最大使用期間とする事を原則とする。
- 2) Oukhitダム (No.28) と Oulhouダム (No.29) は、最大開発を計画の基本とする。
- 3) Timkitダム (No.16) は最大開発の他、小さいダム規模について検討し、経済比較を実施してダム規模を決定する。

以上の方針により、各ダムの利水計画が下記に示すように策定された。なお、Timkitダム (No.16) については、図4.24より最大開発が経済的に有利となった。また受益地へのダム有効貯水容量は、次節で下記利水容量から蒸発・漏水ロスに対する容量を減じて算定する。

ダム名	利水容量 (MCM)	下流受益地での可能耕作面積 (ha)
Timkit (No.16)	12.00	550.0
Oukhit (No.28)	0.75	55.0
Oulhou (No.29)	0.68	48.0

4.6 計画貯水容量

4.6.1 概要

緊急ダムと判断されたTimkitダム (No.16)、Oukhitダム (No.28) 及びOulhouダム (No.29) に対する計画貯水容量 (受益地に対する有効貯水容量) は、前節で算定された利水容量から以降の調査で算定される蒸発・漏水ロスに対する容量を減じて決定した。

レリス川流域内及び近傍で利用可能な蒸発データは、既に調査・検討が行われ、表4.4に示す通りである。各ダムの蒸発ロスに対する容量は、貯水池湖面からの蒸発ロス及びダムから下流の地下涵養地への放流水が河道を流下する時の河道内蒸発ロスの2つを考えた。

Timkitダム (No.16) に適用する蒸発データは、Ait Bouijaneの記録を、Oukhitダム (No.28) とOulhouダム (No.29) についてはTadighoustの記録を利用した。貯水池湖面からの蒸発ロスに対する容量は、上記日平均蒸発に計画貯水池使用日数を乗じて求めた。ダムから下流の地下涵養地への放流量は、涵養を速やかに行うため清水とする事を原則とした。ダム貯水池へ流入する洪水 (濁水) が清水になる日数は図4.25から求めた。ダムから下流への清水放流に関する計画日数は、ダム放流設備規模から決定した。

ダムの堆砂容量を算定するために基本となる比堆砂量は、前ステージで検討されており、 $300\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ が妥当な値と判断された。Timkitダム (No.16) に対する堆砂容量は、計画年数50年を採用し 8.88MCMとした。Oukhitダム (No.28) とOulhouダム (No.29) については25年を採用し、それぞれ 0.65MCM及び 0.59MCMとした。

以上までの検討結果より、各ダムの計画貯水容量は以下のようになった。

ダム名	利水容量 (MCM)	蒸発・漏水 ロス容量 (MCM)	有効貯水 容量 (MCM)	堆砂 容量 (MCM)	総容量 (MCM)
Timkit (No.16)	12.00	1.87	8.71	8.88	20.88
Oukhit (No.28)	0.75	0.06	0.69	0.65	1.40
Oulhou (No.29)	0.68	0.04	0.64	0.59	1.27

4.6.2 ダム余水吐きに対する設計洪水流量

モロッコ国内のダム余水吐きに対する設計洪水流量の確率値は、一般的に小規模ダムについては、1,000分の1年、大、中規模ダムにおいては、10,000分の1年が採用されている。よって、Oukhitダム (No.28) とOulhouダム (No.29) については1,000分の1年を、Timkitダム (No.16) については、10,000分の1年を採用した。これらの設計洪水流量を下記に示す。また、設計洪水水位は、設計洪水流量をH-Qカーブで水位に変換して求めた。但し、Timkitダム (No.16) については、流域面積が約 600km^2 で、貯水容量も一千万 m^3 以上あるため、その設計洪水水位は貯留効果を考慮して決定した。算定された洪水吐に対する設計洪水ハイドログラフを図4.26に示す。

ダム名	設 計 洪水流量 (m ³ /s)	設 計 洪 水 位 (EL. m)
Timkit (No.16)	450.0	1256.0
Oukhit (No.28)	110.0	953.2
Oulhou (No.29)	90.0	946.3

第五章 ダム地質

5.1 調査の概要

レリス盆地には既存のダムが少なく、年間の降雨量はわずかに100~150mm程度にすぎない。貴重な洪水時の水も有効利用されることがなく下流のサハラ砂漠に流失することが多い。従って極度に水が不足している当盆地の地域開発を積極的な行なうためには洪水時の水を貯水するダムの構築が不可欠であると判断されている。貯水した洪水時の水は一旦地下水として涵養し、ダム下流の受益地内において計画的に揚水することはこのような乾燥地帯における水資源開発では特に有効であると考えられている。

上記目的のためのダム候補地点の選定と、最も優先度の高い3ダムサイトでの地質調査を行なったので以下にその結果を記述する。ダム候補地点の現地踏査を当調査の初期段階に行ない、合計32ヶ所のダムサイトを選び出した。各ダムサイトの地形・地質の概要を表5.1に示す。各ダムサイトは経済効果その他技術的問題点の有無を考慮に入れてプロジェクトとしての優劣を判定し、モロッコ政府との協議を行った結果、次の3ダムサイトが開発の優先度が高いと判断され、より詳しい調査を引き続き実施した。

- Timkitダム (No.16)
- Oukhitダム (No.28)
- Oulhouダム (No.29)

本章は主として3つのダムサイトの地質調査結果について記述するものである。

5.2 レリス盆地及びその周辺の地質一般

5.2.1 地 形

レリス川は東北東から西南西に走るアトラス山脈 (Haut Atlas Ranges) にその源を発する。従ってレリス川の支流の多くも東北東から西南西に向かうものが多い。

トドラ川、タンガルファ川、及びレリス川の中流域はアトラス山脈を横切る所で北から南へ深い渓谷となって流下し、下流域では平均河床勾配が 1/200から1/400 で沖積平野を流下し、ついにはErfoud付近で三川は合流している。レリス川本流は更に南に流れ、Rissaniの南方でサハラ砂漠へしみ込んでいる。レリス川の支流のうち、幾つかは山間部から平野部に出たところで表流水は地下にしみ込み地下水流となっている。

5.2.2 地 質

レリス盆地及びその周縁部には先カンブリア紀から、古生代カンブリア紀及び中生代白亜紀にわたる各種の火成岩類や堆積岩類が基盤岩として分布している。

これら基盤岩類を覆って分布する被覆層としては第四紀の洪積世に属する段丘堆積層、沖積世の崖錐堆積層及び現河川に沿う河床砂礫層である。各地層の分布位置やその性状は以下に記すとおりである。

— 先カンブリア紀層（火成岩類及び堆積岩類）

盆地の南側山地（南アトラス山脈）に広く分布している。最下位に位置する火成岩類は南側山地の主要構成岩石であり、主として流紋岩、石英安山岩、安山岩及び塩基性火成岩類（閃緑岩及びはんれい岩）などから成っている。堆積岩類（礫岩、砂質片岩、泥質片岩及び砂・泥片岩互層）はこの火成岩類をとりまく様に南側山地の低標高部分を占めて分布している。

— 古生代の堆積岩類及び火成岩類

レリス盆地内の南半分及び西側に広く分布している。堆積岩類はカンブリア紀、オルドビス紀、デボン紀、石炭紀の各地層が南より順に北に向かって分布し、岩質は砂岩と頁岩の互層、砂岩（カンブリア紀～オルドビス紀）、頁岩、砂岩、石灰岩（デボン紀）、砂岩と頁岩（石炭紀）などとなっている。いずれも各地層は概略の走向が東—西、傾斜は北を示す場合が多く先カンブリア紀層を不整合に覆っている。火成岩類は盆地南側の低山地に不規則に分布している。

— 中生代ジュラ紀の堆積岩類

レリス盆地の北、Haut Atlas山脈の主要部を構成して分布する。石灰岩、砂岩、頁岩及び砂岩と頁岩の互層から成っている。地層の走向はほぼ高アトラス山脈の連続方向と同じであるが、傾斜は褶曲を受けて種々に変化している。

— 中生代白亜紀の堆積岩類

レリス盆地内の北側一帯で東西方向に広い分布がある。さらに盆地東側に位置するErfoudからErrachidiaにおいても広く分布している。当層は下位より順に礫岩、砂岩、頁岩、石灰岩などがある。白亜紀層と前述のジュラ紀層とは断層によって境界をなしている。

— 第四紀の未固結被覆層

洪積世の段丘堆積層及び現河床部の河川堆積物は、レリス川やジズ川及びそれらの支川に沿って分布している。未固結の砂礫、シルト及び粘土からなる。山地の緩斜面や山麓部には小規模な崖錐堆積物の分布がある。

5.2.3 地質構造

レリス盆地及びその周辺部に分布する各地層は概略南側から北側に向かって、古い地層から新しい地層が順に分布している。従って、地層は一般にほぼ東西方向に連続し、北に傾斜する傾向がある。

主要な断層はレリス盆地と北側の高アトラス山脈との境界及び高アトラス山脈内に認められる。断層は地層の走向方向（東西方向）に一致することが多い。そして断層面を境に北側が上昇し、南側が沈降していると考えられる。一方レリス盆地と南側のアトラス山地との境界付近などは、先カンブリア紀の火成岩類、カンブリア紀の堆積岩類、オルドビス紀、デボン紀、石炭紀の各堆積岩類があり、各地層は不整合関係で接している。

5.3 地震

モロッコ国はアフリカ大陸の北西端にあり、地中海地域や北大西洋一帯（スペイン沖）の主要な地震地帯に隣接している。しかし調査地域のレリス盆地は高アトラス山脈の南に位置しており、主地震地帯から約 500km 又はそれ以上離れているため、これらの地震による影響は少ないと結論できる。モロッコ政府機関のひとつである Centre National de Coordination et de Planification de la Recherche Scientifique et Technique よりモロッコ国及び周縁部において過去に記録された地震のリストを収集した。これによると 1901 年より 1980 年までに 1518 回の地震が記録されている。このうち 397 回の地震は各ダムサイト予定地点に対しての影響を検討する対象として抽出された。

397 回の地震データについて、3 つのダムサイトでの震度を以下に示す河角の経験式により計算した。

$$I_j = M_k - 0.0183 (d - 100) + 4.605 \log \left(\frac{100}{d} \right) \quad (d \geq 100 \text{ km}) \dots\dots\dots (1)$$

$$I_j = M_k + 4.605 \log \left(\frac{D_0}{d} \right) + 4.6k (D - D_0) \quad (d < 100 \text{ km}) \dots\dots\dots (2)$$

ここで I_j : サイトでの震度 (日本国気象庁による震度階)

M_k : 震央より 100km地点での震度 (日本国気象庁による震度階)

d : 震央とサイト間の距離 (km)

D : 震源からサイトまでの距離 (km)

D_0 : 震源から 100km地点までの水平距離 (km)

k : S波の減衰率 ($\approx 0.0192/\text{km}$)

なお M_k とリヒタースケールによるマグニチュード (M) とは次に示す関係式によって換算した。

$$M = 4.85 + 0.5M_k \quad \dots\dots\dots (3)$$

サイトでの震度 (I_j) と加速度(a)とは次の式に示す良い対応関係のあることが知られている。

$$a = 0.45 \times 10^{0.5I_j} (\text{gal}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

上述の式(1)~(4)に基づき、 $I_j > 0$ 以上の地震を抽出し、それらは図5.1 ダムサイトで感じた地震 (1901~1980) に示した。

抽出した地震に基づき、3ダムサイトにおける 100年間における地震の発生確率を以下の通り推定した。

サイト名	a (gal)
-Timkitダム (No.16)	2
-Oukhitダム (No.28)	13
-Oulhouダム (No.29)	5

上表より、今後 100年間にサイト近傍で発生の可能性があると考えられる地震の加速度は 2~13 gal (0.01G 以下) となる。

一方、プロット法による地震の再来分析を行った結果は震度の大きい順に示すと次のとおりである。

No	震度	地震加速度 (gal)	再来周期 (Tr)	発生日	マグニチュード
1	3.1	16	80	1979 July 26,	4.60
2	0.8	2	40	1950 May. 10,	5.30
3	0.8	2	27	1979 Aug. 17,	3.50
4	0.2	1	20	1979 Sep. 13,	4.60

これらの各分析結果は以下のとおりで

再来周期	地震加速度 (gal)	
	河角による	プロット法による
100年	13又はそれ以下	25又はそれ以下

これらの結果、3つのダムサイトで今後100年間に発生すると考えられる最大の地震加速度値は $a = 25 \text{ gal} (0.03 \text{ G})$ となる。

しかし、ダム設計のための地震係数は、近傍で既に建設されている Hassan Adakhil Dam (1971年7月完成) の例 $K = 0.1 \text{ G}$ を採用することが妥当であろう。

5.4 各ダムサイトの地質

5.4.1 概 論

第2次調査(1989年7月~10月)ではTimkit、Dukhit及びOulhouの各ダムサイトの地質調査として物理探査、ボーリング調査を実施した。物理探査とボーリング調査は現地業者にその業務を委託し、当調査団の地質専門家の指導・監督のもとに行われた。

各サイトでの地質調査数量

ダムサイト	物 理 探 査		ボ ー リ ン グ	
-Timkitダム (No.16)	6 測線	1,192m	3 本	115m
-Dukhitダム (No.28)	7 測線	1,966m	3 本	71m
-Oulhouダム (No.29)	7 測線	1,842m	3 本	70m
合 計	20測線	5,000m	9 本	256m

5.4.2 Timkit ダムサイト (No.16) の地質

(1) 地 形

タンガルファ川がレリス盆地に到達した所に、Timkit集落が位置している。ダムサイトはTimkit集落より約1km上流の急峻な溪谷にあり、現河床部の標高は1212m、河床部の幅は25m、河床勾配は約1/100などとなっている。添付した図5.8 (Timkitサイトの原石山、砂利採取位置図) で明らかな通り、物探測線のLINE5より上流約300mにおいてタンガルファ川はほぼ直角に流路を変え、北東→南西から北西→南東となっている。

(2) 地 質

ダムサイトの地質は岩盤が中生代白亜紀の石灰岩層から成っている。図5.2（地質平面図）に示した様に当ダムサイト付近に分布する石灰岩層は上位より順に砂質石灰岩、層状石灰岩と泥質石灰岩互層、暗褐色を示す特徴のある石灰岩、淡灰色で塊状を呈する石灰岩及び層状石灰岩と泥質石灰岩互層から成っていることが確認された。なお地質踏査からはダムサイトの周縁部において顕著な断層の存在は考えられない。

(3) 物探結果

物探測線 LINE 1 ～ LINE 6 の配置は図5.2（地質平面図）に示した通りである。同図には解析の結果判明した最下層の速度値も併記してある。これは地質と新鮮な岩盤速度とが対比できる様にしたものである。図5.3（地質断面図）はボーリングデータのある LINE 5（横断面図）と河床に沿ったLINE 2（縦断面図）について、弾性波速度の断面分布と地質との関係が判る様にした。なおその他の測線については附属報告書にその詳細を記した。

a) 地質と弾性波速度との対比

今回の調査測線（LINE 1 ～LINE 6）により次の様な対比をすることができた。

地 質	弾性波速度
被覆層（河床砂礫及び崖錐）	0.3km/sec 1.0km/sec 2.0～2.5km/sec
層状石灰岩と泥質石灰岩互層	2.1 ～ 3.0 km/sec
暗褐色石灰岩（新鮮状態）	2.2 ～ 4.0 km/sec
淡灰色塊状石灰岩（新鮮状態）	3.0 ～ 3.8 km/sec

なお、LINE 1 の下流において幅20mの低速度帯が分布している。この部分の暗褐色石灰岩と淡灰色塊状石灰岩との境界部では岩盤の劣化帯（溶脱）のあったことが示唆される。従ってこの近傍における岩盤処理とグラウチングは特に入念に行なう必要がある。新鮮な岩盤速度値と地質とを対比すれば、淡灰色、塊状石灰岩は最も速度値が大きい。従って、この部分の岩盤が比較的安定したものと推察することができる。LINE 4とLINE 6における0.3km/sec～2.5km/secの表土、風化帯の分布深度は LINE 5 よりも一段と深くなっていることが判明した。以上よりダム軸はLINE 5に沿って選定した。

b) 風化帯の速度と地質状況

図5.3（地質断面図）で明らかな通り、0.3km/sec、1.0km/sec及び2.5km/sec の各風化による速度分布が明らかとなった。これらの各風化帯の速度と地質状況との関係は次の様に推察することができる。

0.3km/sec …… 岩盤が露出する所では当速度層は欠如している。多くは浮き石状態(第1速度層)であり不安定である。被覆層(河床砂礫と崖錐)の場合には極めてルーズな土砂からなる。

1.0km/sec …… 河床付近の岩盤で比較的薄く、斜面の上方で厚く分布する傾向がある。(第2速度層) 開口した亀裂が多く不安定な岩盤状態である。

2.5km/sec …… 新鮮な岩盤速度の直ぐ上位に位置し、新鮮岩盤速度に漸移している。(第3速度層) 従って新鮮岩盤に比べ、亀裂の分布が多いものの、ダムの基礎として十分な地耐力があるものと判断される。

以上より、ダム基礎の掘削において0.3km/sec(第1速度層)と1.0km/sec(第2速度層)及び河床部分の砂礫層(0.3~2.0km/sec)は除去する必要がある。

c) 河床砂礫層の深度

図5.3(地質断面図)に示す通り、物探測線の地下には埋設されたコンクリート製の水路(深さ約4m、幅1.2m、高さ2m)が通過している。加えて地下の岩盤分布を見ると、埋没した急峻な溪谷(幅20~25m、深さ14m)を成しているため、弾性波の経路は最下低部よりも側壁岩盤又は地下水路を経由する方がより速く地表に到達しているものと考えられる。

(4) ボーリング結果

B-1(左岸)、B-2(河床部)及びB-3(右岸)の3本が掘削された。その結果は図5.3の横断面図に示した通りである。これにはR.Q.D(Rock Quality Designation)、透水試験結果値及び岩盤分類を併記した。なお詳細は附属報告書に記した。

a) ボーリングB-1の地質

B-1の結果、暗褐色石灰岩の分布は0~11.1mである。当層は新鮮な岩盤状態においても脆弱な岩質で透水係数の値が極めて高くなっている。

深度11.1m~35mまでは淡灰色塊状石灰岩となっている。当層は薄く暗褐色のやや脆弱な石灰岩薄層を一部挟在しているがR.Q.D 60~80%、ルゾン値1~40(極所的にオープクラックのある所で異常に高い値を示すこともある)と概ね良好な岩盤状態である。

b) ボーリングB-2の地質

B-2の結果、深度0～14mまでが河床砂礫層である。特に深度6.5 m以深では巨礫が主体となっている。

深度15.5m～16.3m及び20m～23m間で淡灰色塊状石灰岩が分布している。当層はR、Q、Dが100%、ルジオン値20～53と概ね良好な岩盤であると判明した。

当サイトでハイダムを計画する場合には河床部分の砂礫層（層厚14m）を掘削除去しコンクリートによる置き換えをする必要がある。

c) ボーリングB-3の地質

B-3の結果、0～1.65mに崖錐、それ以深の1.65～3.6 m、4.0～5.6 m、11.50～15.60 m、24.60～30.0mなどでR、Q、D 75%の塊状石灰岩が分布し、暗褐色石灰岩（R、Q、D 10～40%、ルジオン値80又はそれ以上）がその間の深度に分布している。深度29.9m以浅においては全体に高いルジオン値を有しており、ハイダムの場合にはグラウチングが必要になるものと考えられる。

(5) グラウチング

ダム軸に沿って配置すべきカーテングラウトの計画を以下に示す。

石灰岩や高透水性岩盤を除く通常のダム基礎のカーテングラウト長は

$$D = H / 3 + C \quad D : \text{カーテングラウト長 (m)}$$

ここで H : ダム高

C : 定数 (8～25)

で決定されることが多い。

しかし当ダムサイトは石灰岩で高透水性の特殊な岩盤からなっているためグラウト孔長は以下に示す様な基準（i又はii）も参考にして決める必要がある。

i) ハイダムにおいては調査時のルジオンテストの結果で1～2ルジオン程度の岩盤があればその範囲まで処理する。

ii) $d = \alpha H_{\max}$

ここで d : カーテングラウト長 (m)

H_{\max} : ダム最大高さ

α : 定数 (0.5～1.0)

ルジオンテストの結果上記 i) に該当する良好な岩盤の分布は当サイトに存在しない(図5.11参照)。従ってカーテングラウト長は50m~60m(最大)とする。

両アバットメントにおけるカーテングラウトは地下に存在する可能性がある空洞の洗浄とグラウト効果を最大にする目的のため約70m長のグラウトギャラリーを2~3本配列することが望ましい。

ダムサイトの地質状態を詳細に把握するためには、今後の調査としてボーリング(深度60~90m)、調査横坑、及びグラウチングテスト等を考慮する必要がある。

(6) 原石山及び砂利採取場

ダムサイトの近傍にはロックフィルタイプダムに必要な遮水材はない。原石山は付図5.8 No.16 Timkitサイトの原石山及び砂利採取位置図に示す様にダム軸から上流約700mに位置している。ここには砂質石灰岩が直接山地斜面に露頭しており(表土なし)、少なくとも37,500m²の面積から採取が可能と考えられる。

砂利採取予定地は付図5.8に示す通り、現河床部に沿い少なくとも40,000m²の面積に及んでいる。可採深度は2~3mが見込まれる。これらの建設材料の量はTimkitダム及び関係施設を含めたコンクリート打設に十分であると考えられるが、今後、各種の岩石試験やコンクリート試験を行なう必要がある。

5.4.3 Oukhitダムサイト(No.28)の地質

(1) 地形

ダムサイトはオウキット川の中流、レリス盆地中央部のJorf集落より西南西約24kmに位置している。サイトへは道路が通じておりアクセスは良好である。河床部の標高は約940m、河床幅は約150m、河床勾配は1/100などとなっている。図5.4(地質平面図)で明らかな様に右岸の斜面は左岸に比し、一段と緩く、崖錐で広く覆われている。

(2) 地質

ダムサイトの地質は先カンブリア紀の砂岩が基盤として分布している。これを覆う被覆層には右岸部の崖錐堆積層と現河床部の砂礫層がある。砂岩は薄く頁岩を挟んでおり、風化すると層理面に沿い剝離する性質を有している。当層の走向は概略E-W、傾斜10°Nである。

(3) 物探結果

測線 LINE 7 ~ LINE 13の配置は図5.4 (地質平面図) に示した通りである。これによると全測線共、新鮮な岩盤速度は5.0km/sec 又は4.4km/sec を示す場合が多く、LINE 11 ~ LINE 13などの横断測線の両端部と LINE 7の下流端付近で風化帯の速度3.0km/sec~3.6 km/secが判明している。この風化帯の下位には速度5.0km/sec を有する新鮮岩盤が伏在しているものと推察される。

a) 4.4~5.0km/secの岩盤速度における地質

4.4~5.0km/secの弾性波速度を有する地質は、亀裂も殆どない安定した岩盤状態である。

b) 風化帯の速度と地質状況

岩盤の風化部における弾性波速度は図5.5 (地質断面図) でみる通り、次の様に区分される。

0.5 km/sec …… 極めて風化が進み、開口亀裂の間に粘土を挟んでいる。当層は層厚0.5 m又はそれ以下である。
(第1速度層)

0.7 ~ 1.0 km/sec …… 極めて亀裂が多く、亀裂に沿い風化が進行している。不安定。当層の層厚は最大約2 mである。
(第2速度層)

2.4 ~ 3.6 km/sec …… 所々開口亀裂の分布は認められるが、岩塊自体は新鮮であり、ダム基礎として十分な地耐力を有している。
(第3速度層)

c) 被覆層の速度と地質

被覆層としては崖錐堆積物と現河床砂礫層があり、これらの弾性波速度は次の様になっている。

0.3 ~ 0.5 km/sec …… 極めてルーズな河床部の砂礫及び崖錐土砂。

0.8 ~ 1.0 km/sec …… 河床砂礫はルーズで湿潤である。崖錐土砂においては岩屑、岩片が主体となっている。

これらの被覆層の層厚は、崖錐堆積物 (0.5 ~ 0.8km/sec) で2 m程度、河床砂礫層 (0.3~1.0km/sec) で最大7 mであると判定される。

以上よりダム建設のための掘削深度は岩盤が露出する所においては約3 m（第1速度層と第2速度層）、河床部の砂礫層6～7 m及び右岸部の崖錐堆積物において約2 mと推察される。なお物探結果からみて、ダム軸としての適・不適や地質状態の大きな変化は認められなかった。

(4) ボーリング結果

B-4（左岸）、B-5（河床部）及びB-6（右岸）の3本が掘削された。その結果は図5.4に示した通りである。

a) ボーリングB-4の地質

B-4の結果、深度0～0.5 mは極めて風化した砂岩、深度0.5～3.3 mまでがR. Q. D 0%の劣化した岩盤、それ以深は平均R. Q. D 70%の安定した岩盤となっている。特に深度14 m以深では100%のR. Q. Dで、ルジオン値は17～20となっている。

b) ボーリングB-5の地質

B-5の結果、河床砂礫の層厚は6 m、深度6～8.8 mでR. Q. D 0%、深度8.8 m以深でR. Q. D 90～100%の良好な岩盤（砂岩）が確認された。特に深度14.4 m以深ではR. Q. D 100%であり、ルジオン値は7～12となっている。

c) ボーリングB-6の地質

B-6の結果、深度0～2.2 mが崖錐堆積物、深度2.2 m以深でR. Q. D 70～90%の安定した岩盤が確認された。しかしB-4と同様に部分的にオープンクラックが存在する場合にはルジオン値が32（B-6）、66（B-4）と高くなることもある。それ以外の試験区間におけるルジオン値は1～14となっている。

(5) オープンクラックの遮水対策

ボーリングB-4及びB-5の地質で明らかな様に両岸部には処々オープンクラックの存在が確認されている。なお、河床部分の岩盤にもクラックが存在する可能性が考えられる。ダム基礎掘削によってオープンクラックの存在が確認された場合には、クラック部分の洗浄及びコンクリートによる置き換えを行なうものとする。又著しくクラックが分布する場合には深度5 m又は10 m程度のグラウトを計画することが望ましい。

(6) 原石山及び砂利採取場

Oukhitサイトの原石山及び砂利採取予定地点を図5.9に示した。サイト周辺にはフィルダムのための遮水材料は分布していない。メーソンリーダム用の材料は予定地点の原石山から開発が可能と考えられる。岩質は硬質な片状砂岩であるが、品質のチェックのための調査を行なう必要がある。コンクリート用の砂利は河床部より採取することができる。砂についてはダムサイトより下流で砂が多く堆積している場所を選定する必要がある。

5.4.4 Oulhouダムサイト (No.29) の地質

(1) 地 形

盆地南部の Mellaabより東南東10kmのルウオウ川中流にダムサイトは位置している。ダムサイトへは Mellaabより河床に沿ってジープにて到達することができる。ダムサイト付近の河床部の標高は954m、河床部は約110m、河川勾配は1/125 などとなっている。ダムサイト付近左岸の地形は右岸に比し特に緩く、そこでは段丘堆積物や崖錐堆積物が河川に沿って分布している。

(2) 地 質

ダムサイトの地質は先古生代の貫入岩であるはんれい岩が基盤岩として分布している。これを覆って段丘堆積物と崖錐堆積物が左岸に広く分布している。一方、右岸ではダム軸付近は直接はんれい岩が露頭しており、急斜面を形成している。

(3) 物探結果

測線 LINE 14～ LINE 20の配置は図5.6（地質平面図）に示した通りである。

a) 新鮮な岩盤の弾性波速度

図5.7（地質断面図）でも明らかなおおり、新鮮な岩盤速度は全測線共 5.0km/secを示しており、極めて堅固、安定しており断層や破砕帯は存在しない。

b) 風化帯の弾性波速度

風化帯の速度ははんれい岩の露頭する所において次の様に区分される。

0.3 km/sec …………… 浮き石が基盤岩の上にある状態。ダム軸に沿う LINE 19で
(第1速度層) …………… は欠如している。

0.8 ~ 1.2 km/sec …… 極めて亀裂がよく発達し、亀裂に沿い風化が著しい。層厚
(第2速度層) …………… はダム軸付近で平均3 m、最大で4 m。

2.0 ~ 3.0 km/sec …… 新鮮岩塊と変わらぬ程に新鮮な状態であるが、亀裂が多く
(第3速度層) …………… 発達している。層厚は4 ~ 10 m。

c) 被覆層における弾性波速度

被覆層の弾性波速度は次の様に区分できる。

0.3 km/sec …………… 極めてルーズな河床部と段丘面の砂礫。崖錐の土砂からなる。

0.6 ~ 0.7 km/sec …… 河床部と段丘面の砂礫でルーズ。湿潤である。崖錐の土砂からなる。

0.9 ~ 1.2 km/sec …… 巨礫を多く含んだ河床砂礫及び段丘砂礫と岩屑を多く混えた崖錐からなる。

1.5 km/sec …………… 地下水位面下の河床砂礫。

これらの弾性波速度分布から判断すると右岸では岩盤の風化帯のうち 0.9 km/sec ~ 1.2 km/sec までの層は掘削除去する必要がある。左岸では段丘砂礫と崖錐及び岩盤の風化帯 1.2 km/sec は除去する必要がある。一方、河床砂礫は 12.5 m と深部にまで分布している。小規模な高さのダムの場合には河床砂礫層中に基礎を置くフローティングタイプも考えられるであろう。

(4) ボーリング結果

B-7 (左岸)、B-8 (河床部) 及び B-9 (右岸) の計3本が掘削された。

a) ボーリング B-7 の地質

B-7 の結果、深度 0 ~ 4.2 m までが段丘堆積物、深度 4.2 ~ 7.0 m までは開口亀裂の著しく発達したはんれい岩、片状コア、深度 7.0 m 以深は新鮮なはんれい岩となっている。特に深度 11.0 m より亀裂の全くない、R. Q. D 100 % の岩質となっている。ルジオン値は被覆層を除いた岩盤で 1.2 である。最下部の試験区間で 59 Lu' と計算されているが、これは換算ルジオン値であり、岩盤状態から判断して高透水性であるとは考えられない。この試験区間ではエアパッカーの状態が悪く、逸水があったものと判断される。

b) ボーリングB-8の地質

B-8の結果、深度0~12.5mで河床砂礫、深度12.5~14.9mで亀裂の発達したはんれい岩、深度14.9m以深は新鮮な岩盤である。特に深度19.5m以深ではR, Q, D 100%である。

河床砂礫の透水係数は $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec} \sim 4 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ である。一方岩盤のルジオン値は1以下となっている。

c) ボーリングB-9の地質

B-9の結果、深度0~1.0mで著しく風化した岩盤、深度1~1.95mでR, Q, D 40%の亀裂の多いはんれい岩、深度1.95m以深は亀裂が殆ど認められない新鮮なはんれい岩である。ルジオン値は1以下である。

(5) フローティングタイプのダムを計画する場合に考慮すべき事項

a) 河床砂礫層におけるパイピング

Laneの加重クリープ比による方法：
$$Rc_1 = \frac{\frac{1}{3} H + V}{h}$$

Blighのクリープ比による方法：
$$Rc_2 = \frac{L}{h} \text{、} L = H + V$$

ここで、

Rc_1 、 Rc_2 ：クリープ比

H：水平方向の接触長さ

V：垂直方向の接触長さ

h：水頭差

L：構造物と河床砂礫との接触長さ

河床砂礫は主として巨礫からなっており、細粒子が巨礫間を密に充填している。従って Rc_1 と Rc_2 は各々2.5及び4~6の値より大きくなる様にダム構造物を設計する必要がある。

b) 浸透流の限界動水勾配

$$Ic = \frac{h}{L} = (Gs - 1)/(1 + e)$$

ここで、

Ic：限界動水勾配

Gs：砂礫の比重 (=2.6 推定)

e：空隙率 (=0.43 推定)

以上より、限界動水勾配 I_c は概略 1 に等しいので水頭差 (h) 以上の幅を有するダム堤体 (L又はB) のダム構造物を設計する必要がある。

(6) 原石山及び砂利採取場

Oulhouダム用の原石山及び砂利採取予定地点は図 5.10 に示してある。ダムサイトの近傍にはフィルダムのための遮水材料は分布していない。メーソンリーダム用の材料は予定地点の原石山から開発が可能と考えられる。岩質は極めて硬質なはんれい岩である。コンクリート用の砂利は現河床部より選別採取することになる。砂についてはダムサイトより下流で砂が多く堆積している場所を選定する必要がある。

5.5 結 論

ダム地質調査結果から以下に示す諸点を明らかにすることができた。

1) 初期の調査で表 5.1 に示す 32ヶ所のダムサイト候補地点を挙げることができた。このうち Timkit (No.16)、Oukhit (No.28) 及び Oulhou (No.29) が開発優先度の高いダムサイトとして選定され、ボーリング、透水試験、物理探査等の地質調査が行なわれた。

2) Timkit (No.16) サイトの基盤岩は白亜紀石灰岩であり、新鮮な石灰岩は層厚が薄く、風化を受けて脆弱な石灰岩や空洞を有する不安定な石灰岩が互層をなしている。物理探査の結果によってもこのことが推察される。従って、この地点はダム基礎として地耐力が不足し、かつ漏水量がかなり多いと判断され、ハイダムの建設には問題がある。今回のスタディでダムの基本設計を行なったが、今後本ダムの建設を実施の方向で考えるのであれば、詳細設計に先立ってダム軸の選定をも含めた弱い地耐力それに透水性の基盤岩の処理方法を確認するための調査が必要である。これらの調査は両岸での調査横坑、岩盤の剪断試験、ボーリング、それにグラウチングテスト等である。調査の結果を十分に分析し、かつこの地点に適したダムの施工法を検討した上で最終的にダム規模を決定しなければならない。

3) Oukhit (No.28) サイトの基盤岩は先カンブリア紀の片状砂岩層からなっている。当層は薄く頁岩層と挟んでおり、上流に傾斜している。新鮮岩盤の弾性波速度は 4.4~5.0 km/sec を有しており、ダムサイトとしては良好な状態である。掘削が必要な風化帯と河床砂礫の厚さは各々、3 m (右岸左岸共) 及び 6~7 m (河床砂礫層) 程度である。

Oulhou (No.29) サイトの基盤岩は先カンブリア紀のはんれい岩からなっており、新鮮なはんれい岩の弾性波速度は 5.0km/secに達する極めて堅硬で安定した岩盤である。ボーリングと透水試験の結果も R, Q, Dで80~100%、ルジオン値は1以下の値を示している。掘削が必要となる風化帯の厚さは右岸で0.5m~3.0m、左岸で0.5m~7.0mなどとなっている。一方、河床砂礫層の層厚は12.5mと深くまで分布しているため、低ダムを計画している当サイトではフローティングタイプのダム(3~5m掘削)の構築が考えられる。

Oukhit (No.28) サイトとOulhou (No.29) サイトに関しては、中~小規模のダムの構築に対し、重大な支障を及ぼす様な地質上の問題点は認められなかった。当盆地のひっ迫した水需要を考えると、早期の事業化が望まれる。

第六章 水理地質

6.1 調査の概要

レリス盆地のダム建設計画の主目的は、年間降雨量が極めて少ない当盆地における貴重な洪水による水資源を最大限に有効活用することにある。現在のレリス川及び各河川の流域内にある既設ダムは絶対数が少なく、各小ダムの機能は洪水流量の有効活用を目的としたものではない。

これまでの大部分の洪水による貴重な水資源は有効に利用されることなく流失してきているのが現状である。

洪水による水資源を一時的にダム構築により貯水し、徐々に地下に浸透させて、この人工涵養された地下水を利用することは当盆地流域の地域開発にとり、極めて意義あるものと考えられている。

地下水の人工涵養と開発可能な地下水のポテンシャルを究明することは当調査の遂行上不可欠なものと判断される。

上記の目的のための水理地質調査を実施した。それらの結果を以下に水理地質状況、現在の地下水の状況、開発可能な地下水ポテンシャルの推定と人工涵養の方法及び生産井戸の施設計画の順に記す。

6.2 調査地域の水理地質の現況

6.2.1 水理地質

調査地域の水理地質からみた地質は以下のようになっている。

- レリス盆地南方山地は基盤岩として先カンブリア紀の堆積岩及び火成岩類がある。これらの基盤岩は不透水性岩盤となっており、基盤岩における地下水のポテンシャルは殆どないと判定できる。しかし、基盤岩を不整合に小規模に分布する現河床堆積物は高透水性を有するので、各河床部においては河川の伏流水を汲み揚げるための掘り抜き井戸が分布している。

一 レリス盆地中央部、低地の基盤岩は主として中生代の各種堆積岩からなっている。これらのうち白亜紀砂岩、石灰岩は高透水性であり、頁岩、凝灰質頁岩は不透水性岩盤となっている。高透水性岩盤に達する深井戸が多く建設されてきている。当地域を比較的薄く覆って分布する現河床に沿った第四紀河川堆積層は高透水性を有しており、浅井戸の発達が認められる。

なお、低地南東部の一部の地域には古生代のデボン紀の基盤岩類があり、深部の高透水性の石灰岩、砂岩の分布帯には被圧した地下水の分布がある。

一 レリス盆地北方にはジュラ紀の石灰岩を主とする高アトラス山地があつて、比較的透水性の高い岩盤が露出している。地下には石灰岩特有の地下水脈の分布も考えられ、所々に湧泉の分布が認められる。

6.2.2 水理地質構造

調査地の水理地質構造の概念図を図6.1に示した。調査地の地下水は、第四紀の河川堆積層(Q)中を流動する自由地下水(1)と白亜紀の砂岩(Csa)、ジュラ紀の石灰岩、石灰質砂岩(Jls、Jsa)中を流動する被圧地下水(2)に分けられる。白亜紀の砂岩が分布するところでは概念図に示すように上部に不透水層と評価できる頁岩層(Csa)が分布する。

これとは別に調査地では、デボニアン紀の石灰岩、石灰質砂岩(Dls)中に化石水的被圧地下水(3)が認められる。地下水を賦存する地層(帯水層)の水理地質的特徴を以下にまとめた。

地下水 の分類	地 層	層 相	厚さ(m)	地下水タイプ	透水係数 (cm/sec)
(1)	第四紀の河川堆積層 中生代	砂、砂礫(Q)	20~50	自由地下水	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
(2)	白亜紀+ジュラ紀	砂岩(Csa) 石灰岩、石灰質砂岩 (Jls、Jsa)	100~300 500+	被圧地下水	$10^{-4} \sim 10^{-3}$ "
(3)	古生代 デボニアン紀	石灰岩、石灰質砂岩 (Dls)	0~300	化石水的 被圧地下水	不 明

6.2.3 地下水流動機構、地下水涵養機構

前述の流域内に存在する3つのタイプの地下水は、それぞれ別々の地下水流動形態及び地下水涵養機構を有している。

第四紀の河川堆積層中を流動する地下水(1)は、図6.2の地下水コンタ図に示すように、レリス川やトドラ川の上流から下流にかけて流下している。この地下水の涵養源はほとんど高アトラスやアンチアトラスから流れ込む河川水である。

白亜紀の砂岩やジュラ紀の石灰岩、石灰質砂岩中の地下水(2)は図6.3の地下水コンタ図に示すように、高アトラス山地からGoulmima、Tinerhir方向へ向かって流動している。

高アトラス山地中の降雨の一部は直接ジュラ紀の岩盤中に浸透し、白亜紀の砂岩を通じて流出している。高アトラス山中に認められる泉やGoulmima周辺のホッタラは、これらの地下水が湧出しているところである。

デボニアン紀の岩盤中の地下水(3)の起源は、高アトラス山地で降った雨が古昔に浸透したと考えられるが、分布がアンチアトラス山地縁辺部やErfoud北部の自噴井戸に限られていることより、詳細は不明である。

6.2.4 電気伝導度 (EC)

河川堆積層中の地下水(1)のECは図6.4に示すように、基本的には上流から下流に向かって増加する。Tadighoustで $2,000 \mu\text{s/cm}$ 、Goulmimaで $1,500 \mu\text{s/cm}$ 及びJorfやErfoudで $3,000\sim 7,000 \mu\text{s/cm}$ を示す。

一方、岩盤中を流れる地下水(2)及び(3)のECは図6.5に示すように、地下水の流下距離(停滞時間)に応じて増加する傾向にあるが、Ait HaniやTadighoust東側には、EC値の高い部分($2,500 \mu\text{s/cm}$)が存在する。TadighoustやGoulmima地区の地下水のECが高いのは、これに原因していると判断される。

6.2.5 PH

PHもECと同様に河床堆積層中の地下水(1)と岩盤中の地下水(2)及び(3)とに分けて評価することができる。河床堆積層中の地下水は、PH分布図(図6.6)に示すように、PH=7.0~8.0と弱アルカリ性を示すが、TinejdadからMellaabにかけては、PH=6.5~7.0と弱酸性を示す。この地域では上述したデボニアン紀の地下水(3)が混入している可能性がある。

一方、岩盤中の地下水はPH分布図（図6.7）に示すようにほとんどが7.5～8.5のアルカリ性を示す。調査地内には酸性を示す地下水（PH=6.3～6.4）があるが、Tinejda西方及びJorf西方の湧泉から採水したものである。この地下水は、デボニアン紀の石灰岩の中に賦存している化石水的な地下水(3)と判定できる。

6.2.6 水 温

測水を実施した時期は、冬期（1989年、1月～2月）であったため、河川水や浅層地下水(1)の水温はばらつく傾向があった。外気の影響を受けない平均的な水温は、河川堆積層中の地下水(1)と岩盤中の地下水(2)及び(3)とも18℃～20℃である。但し、デボニアン紀の地下水(3)は14℃～16℃と他の地下水よりも低い傾向を示した。

6.2.7 水理定数

水利総局の地方事務所で過去に調査を実施し、地質資料及び揚水試験データの整っている13地点について水理定数の再検討を行った。試験実施地点は図6.8に、試験結果は表6.1に示した。簡易揚水試験は、10地点が岩盤（白亜紀砂岩6地点、ジュラ紀石灰岩4地点）で残りの3地点が河川堆積層で実施されている。これらの試験はすべて掘削井戸のみで実施した単孔揚水試験となっている。解析はヤコブの回復法を適用した。

河川堆積層の透水係数は $2.7 \times 10^{-2} \sim 5.8 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ で岩盤の透水係数に比べて1桁程度大きな値を示す。

岩盤の透水係数の内、白亜紀の砂岩は $8.6 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 、ジュラ紀の石灰岩は $2.8 \times 10^{-3} \sim 2.2 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ を示し、両者にはきわだった差は認められない。

6.2.8 浸 透 能

浸透試験は図6.8に示す地点でリチャージ能力を確認する目的で4地点実施した。試験は主として、地下水の人工涵養の予想される現河道及びその近傍で実施した。表層の地質は砂～砂礫でシルトが幾分混入している。平均的な最終浸透能は、40～70mm/hrであった。

6.2.9 地下水の年代

地下水の流動機構、流動速度を把握する目的で、図6.9に示す地点でサンプル水を採取しトリチウム、炭素14による地下水の年代測定を実施した。トリチウムは5地点、炭

素14は2地点で採水し、測定は学習院大学理学部の年代測定室に依頼し実施した。採水地点の選定は測水調査結果、水質調査結果に基づいて行った。井戸番号 691地点以外は、水質分析地点と一致している。

年代測定の結果は下表に示す通りである。

試料No.	地下水 の分類	年代測定法	水 源	帯 水 層	年代測定 結 果
103	(3)	炭素14	泉	石灰岩 (デボニアン紀)	>36,690年
120	(3)	"	深井戸 (自噴)	石灰質砂岩 (")	>38,170年
107	(2)	トリチウム	ホッタラ	砂岩 (白亜紀)	0.9 T.U
114	(1)	"	掘抜き井戸	砂、礫 (第4紀)	7.0 T.U
117	(1)	"	ホッタラ	" (")	9.3 T.U
218	(2)	"	泉	石灰岩 (白亜紀)	8.2 T.U
691	(1)	"	掘抜き井戸	砂、礫 (第4紀)	4.7 T.U

※ 年代 (1950年よりの年数)

$$1 \text{ T.U} = {}^3\text{H}/{}^1\text{H} = 10^{-10}$$

トリチウムによる年代測定の結果、試料番号 107の0.9 T.Uを示すホッタラの水(2)は、ほとんどが50~60年より古い水で、最近の水(過去5年以内)は極く少量しか含まれていなかった。試料番号114、117、218、691の水は、50~60年より古い水と最近の水が半ずつ混入していると判断される。

試料番号103、120の地下水(3)の年代は36000年よりも古いという結果になった。これらデボニアン紀の地下水(3)は、高アトラス山脈から長い時間をかけて流下してきたもので、化石地下水的な地下水であると評価される。

6.2.10 水 質

飲料水、牧畜用水、灌漑用水に対する適用性を評価する目的で、盆地内の54地点から採水した水について水質分析を実施した。採水地点は、井戸、河川、泉、ホッタラである。試験結果の概要は下の通りである。

図6.10にヘキサダイアグラムを図6.11にパイペアダイアグラムを示した。これによれば、調査地内の地下水(1)、(2)及び(3)の水質は次のように評価できる。

調査地内の地下水の水質パターンは、以下の三パターンに区分できる。

タイプ1：Tinejdad、Goulmimaより下流のトドラ川、レリス川の河床堆積層中の水で、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 So_4^{2-} の溶存量が大きい水。とくにErfoud、Rissaniではこれらの量が多い。 So_4^{2-} の溶存量が多いので、これらの水は家庭排水の影響を受けている可能性がある。

(No.104、106、109、114、115、117、118、119)

タイプ2：高アトラス、アンチアトラス山中及びGoulmima周辺のホッタラから得られる水で、溶存イオン量が少なく、きれいな水。

(No.101、102、105、107、108、110、111、112、113、121)

タイプ3：デボニアン紀の石灰岩、石灰質砂岩中の水で、 HCO_3^- の溶存量が他の水に比べて大きい。 HCO_3^- の量が多い理由は、石灰岩中に滞留した時間が長いためと判断できる。(No.103、116、120)

Goulmima周辺の地下水は、タイプ1の水(1)とタイプ2の水(2)に区分できる。タイプ1の水は河床堆積層中を流れてきた水、タイプ2の水は白亜紀の砂岩を流下してきた水である。

調査地域の地下水は、高アトラス山中からGoulmima周辺にかけて白亜紀の砂岩やジュラ紀の石灰岩を流れる被圧地下水(2)、レリス、トドラ河川堆積層中を流れる自由地下水(1)、デボニアン紀の石灰岩、石灰質砂岩中の化石水的被圧地下水(3)に各々分けることができる。

6.3 地下水開発ポテンシャル

レリス盆地内で開発が可能な地下水は、河川堆積層中を流動する不圧地下水(1)とジュラ紀、白亜紀の岩盤を流動する被圧地下水(2)である。デボニアン紀の化石地下水(3)は、水質分析の結果、塩分濃度が高く、かつ賦存量が不明であるため、地下水開発の対象から除外すべきである。今回、水収支計算(1978-1987年の水文資料を使用、計算対象の流域面積はRissaniの南部地域を除く約10,565km²)を行った結果、盆地内の地下水開発ポテンシャルは以下の通りとなった。

地 域	降雨量 ($10^6 \text{ m}^3/\text{Year}$)	河川流出量 ($10^6 \text{ m}^3/\text{Year}$)	河道地下水の流出量 ($10^6 \text{ m}^3/\text{Year}$)	岩盤地下水の流出量 ($10^6 \text{ m}^3/\text{Year}$)
高アトラス	487	43	5	114
アンチアトラス	293	8	11	0
平地部 (丘陵)	343	10	0	0
合 計	1,123	61	16	114

流域全体で見れば河川堆積層中 (河道地下水(1)) の地下水ポテンシャルは、岩盤地下水 (2) のポテンシャルに比べてかなり小さい。岩盤地下水ポテンシャルの高い分割領域は図 6.12 に示す 1、2、3、4、5、6、7、8、9、11、16 でこのうち 5、11、16 は特にポテンシャルの高い領域である。

なお地下水(1)のタイプについては、河川堆積層中の地下水位は過去10年間で連続して低下しており、このままの状態 (河川からの浸透量の不足) が続けば、今後も継続して低下する可能性がある。

地下水の開発にあたっては、開発地域のみならず、開発が周辺地域に及ぼす影響を事前に考慮しておく必要がある。

6.4 地下水涵養施設計画

6.4.1 計画対象地域

地下水涵養施設計画は、その開発が有望と目される Timkit、Dukhit 及び Oulhou の 3 ダム地点から下流部の受益地帯の区間で検討した。

6.4.2 地下水涵養の方法

洪水流をダムで貯留し、浮遊土砂が沈殿した後、河道に放流し地下水涵養を行う。涵養方法は拡水河床法とする。

6.4.3 ダムの放流水による地下水人工涵養量

ダムの放流水による地下水人工涵養量は、貯水池からの漏水、貯水池からの蒸発、河道からの蒸発を考慮し次の式で求めた。

各ダムの放流水による地下水人工涵養量 = 放流開始時のダム貯水量 * 人工涵養率

$$\text{人工涵養率} = \frac{I f-1}{I f-1 + I f-2 + E1 + E2}$$

放流開始時のダム貯水量 = 有効貯水量 - (I f-2 + E1) * 土砂沈殿に要する期間

I f-1 : 河床からのかん養量

I f-2 : 貯水池からの漏水量

E1 : 貯水池からの蒸発量

E2 : 河道からの蒸発量

検討結果を下表に示す。

ダムサイト	各ダムの放流水による地下水 人工涵養量 (m ³)
Timkit (No.16)	8,566,000
Dukhit (No.28)	720,000
Oulhou (No.29)	628,000

6.4.4 地下水流速の推定

涵養水の地下水流速は以下の式を使って求めた。

$$v = \frac{V}{a} = \frac{k I}{a}$$

但し、

v = 地下水の実流速 (m/day)

V = 見かけの地下水流速 (m/day)

a = 有効空隙率 (0, 1)

k = 透水係数

I = 動水勾配

計算に使った透水係数は、揚水試験で得られた河川堆積層の平均透水係数を採用した。動水勾配はダムから受益地間の平均的な地表面勾配とした。結果は下表の通りである。

ダムサイト	透水係数 k (m/day)	動水勾配 I	有効空隙率 a	地下水実流速 V (m/day)
Timkit (No.16)	207	1/330	0.1	6.3
Oukhit (No.28)	207	1/160	0.1	12.9
Oulhou (No.29)	207	1/140	0.1	14.8

6.5 生産井戸の施設計画

6.5.1 揚水施設の規模、位置

揚水施設の規模、位置は、モロッコ政府によって決定される。

6.5.2 揚水可能量の推定

揚水可能量は、ダム建設により新規に開発された地下水量のうち、下流の受益地で新たに取水可能な量とする。

6.5.3 井戸タイプ、構造

井戸のタイプは地下水位が地表面下15m前後と浅いことから掘抜き井戸とする(手掘り)。取水帯水層は河床堆積層である。井戸構造は水利局地方事務所と協議した結果、図6.13に示す構造とした。井戸の深度は25m、井戸内径は1.5mとした。

6.5.4 一本当りの井戸の揚水量

一本当りの井戸の揚水量を図6.14に示す定常放射流の式で計算した。実際には水平坑があるが、計算では直径1.5mの井戸から集水するものとした。井戸内の水位低下は水平坑

の上端以下には水位が低下しないことを条件とし、最大2 mとした。透水係数は揚水試験の平均値(0.24cm/sec)を採用した。一本当りの井戸の揚水量は図6.14より最大45ℓ/secと設定した。実際の安全揚水量は最大揚水量の6割程度とすれば、30ℓ/secと考えられる。

6.5.5 井戸の適正配置

不圧地下水の井戸での影響半径は、一般に100~300mと言われている。井戸一本当りの影響半径をシーハルトの式を使って検討すると以下の結果が得られた。

シーハルトの式

$$\text{影響半径} = 3000 * S_w * \sqrt{k} = 294 \text{ m}$$

S_w : 水位低下量 (2 m)

k = 透水係数 (0.0024m/sec)

上記の結果より、井戸を複数以上設置する場合、各々の井戸が他の井戸に影響を与えない距離は600m以上と推定できる。

6.5.6 揚水ポンプ

揚水ポンプの選定は井戸の一本当りの最大揚水量が45ℓ/secであるので、これを目安に選定すべきである。

第七章 水質分析

7.1 概 論

レリス盆地内の合計54地点より標本を採取し水質分析を行なった。標本の採取は泉、ホッタラ、井戸、それに河川から行い、そのうち33サンプルについてはJICA供与の簡易水質分析セットを使用して現場で分析し、残りの21サンプルはカサブランカのLPBBラボラトリーで、より詳細な分析を実施した。表7.1に分析項目を示す。水温、PH、それに電気伝導度（EC）については全サンプルに対して採水時に計測を行なった。採水場所の選定に当たっては、生活用水、灌漑用水、牧畜用水の需要地それに水理地質調査との関連も十分に考慮に入れた。図7.1に採水場所をプロットしている。表7.2及び表7.3に各採取水地点の名称、採水源、採水日時それに分析結果をまとめてある。

7.2 生活用水

7.2.1 水質基準

表7.4に世界保健機構（WHO）が定めた生活用水に対する基準値を示している。今回の分析にこの水質基準を使用することにした。JICAが供与した簡易水質分析セットは、JIS規格（表7.5参照）による分析用となっており現場で使用した。

7.2.2 水質分析結果

水質分析の結果は表7.6にとりまとめてあるが、その結果を以下に要約する。

1) 濁 度

No.109とNo.111のサンプルはかなり高い濁度を示すが許容値以内である。許容値をこえているのはNo.120サンプルのみ。

2) 色 度

No.206、No.211 それにNo.212の3サンプルがJISの許容値を越えている。

3) 残留固形分

WHOの基準によれば、No.101とNo.105の2サンプルのみ許容値以下である。両サンプルとも湧泉から採取したものである。No.109、No.119のサンプル水はかなり高い値を示した。

4) カルシウム

ほとんどのサンプルが高い含有率を示しており、合計 8 サンプルが許容値以上となった。

5) 硫黄分

9 サンプルが高い濃度を示し、そのうち 7 サンプルは許容値をこえている。

6) 塩素

No.105 及び No.113 のサンプル以外は全て WHO の基準値をこえている。うち 9 サンプルは含有率が非常に高い。

7) 鉄分

No.102、No.103、No.104、No.111、No.113 それに No.120 の合計 6 サンプルはかなり高い値を示すが許容範囲内には入っている。これ以外のサンプルは極くわずかの鉄分しか含有していない。

8) マグネシウム

No.103、No.104、No.109、No.120 の合計 4 サンプルが高い含有率となっており、No.120 は許容値をこえている。

9) 窒素

No.201 と No.224 の 2 サンプルのみが J I S 規格の許容限界をこえている。

10) 病原菌

No.204、No.206、No.214、No.217、No.227、No.229、No.230、No.232 それに No.233 の合計 9 サンプルが許容値以上の病原菌を含んでおり飲料水として不適、夏場に採水すれば許容値をこえるサンプル水はもっと増えよう。河川水は洪水発生の数日後に採水したものである。

11) 大腸菌

バクテリアの増加が認められなかったのは No.201、No.205、No.211、No.215、No.216、No.220 それに No.224 の合計 7 サンプルのみで、他のサンプルについては増加が認められた。

7.2.3 考察及び結論

水質分析の結果、飲料水として無処理で利用出来るのは、Todrha溪谷の水、Ait El Mesquineの井戸水、Arhbalouの泉水、それにTinoumirraとAit Ba Maatiのホッタラの水である。他の不適と判定されたサンプル水は主として、硬度や塩素濃度が高く、また大腸菌を含んでいる。一般にSud Atlasからのサンプル水 (No.201 及びNo.105)はHigh Atlasからのサンプル水 (No.202、No.208、No.102、No.207、No.104 及びNo.105)より軟水である。Todrha溪谷の水 (No.203、No.102 及びNo.104)も割合軟水である。川下に行くほどサンプル水中の塩分濃度は高くなり、TinejdadやTafilalet ではかなりの高濃度である。

病原菌の含有は河川水や湧泉からのサンプル水の採水時期によりかなり値がちがう。融雪水や洪水には多くの有機物が含まれており、バクテリアの増加が見られる。一方、ホッタラや井戸の中には農業用水や下水の浸透により汚染されているものがある。給水人口の増加に伴い集落内の井戸水の利用頻度が高まれば、汚染の恐れが増すと思われる。

これらの分析結果より判断して、地域住民はこれまでの井戸、泉、ホッタラ等からの取水ではなく、完備した水道により飲料水の供給を受けられるように施設が拡充されることが望まれる。各家庭への配管が望ましいが、遠隔地では共用の給水栓を設置するとよい。水道料金を高くすると住民は利用しないので、なるべく安くして少なくとも飲料水、料理に使う水は水道を使うようにすべきであろう。Tafilalet 地区の水質が特にひどいので、水道施設の早期設置が望まれる。給水栓の設置がONEPにより既に開始されている。

7.3 灌漑用水

7.3.1 水質基準

灌漑用水の水質基準を表7.7に示す。もし使用する灌漑用水が許容範囲をこえるものであればリーチングを防ぐために余分な水量が必要となる。有害物質を多く含んでいると、作物の収穫量が大幅な減収となる可能性あり。大腸菌の含有を示すMPN指数の大小は、果実や野菜のように生で食に供せられる産物に大きな影きょうを及ぼす。

ナトリウム吸収率 (SAR) は下記の式により計算される。

$$SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

図7.2は灌漑用水の水質基準を示す。この図はSARとECの関係により、水質を幾つかのグループに分割している。各グループの水質の特徴は表7.8にとりまとめている。

7.3.2 水質分析結果

各サンプルの水質分析の結果を表7.9に示す。分析結果を要約すれば下記の通りである。

1) 残留固形分

レリス盆地内で採取したサンプル水の試験によれば、残留固形分や塩素の含有が大きい傾向が見られた。残留固形分が500mg/ℓ以下のものはトドラ溪谷とTarihoucht 泉からのサンプル水のみである。Tafilalet 地区からのサンプル水では含有量が5,000mg/ℓ以上のものが多く見られた。

2) 塩素

合計21サンプルのほとんどが高い値を示し、15サンプルは許容値を大幅に上まわっている。

3) PH

Tourbert の泉や Tourougの家畜用給水場から採取した2サンプルはやや酸性を示すが許容範囲内である。他のサンプルについては問題ない。

4) 電気伝導度 (EC)

Tardha溪谷より採水したNo101 サンプル以外は高い電気伝導度 (EC) を示し、21サンプル中10サンプルは許容値をこえている。

5) 硫黄分

11サンプルが高濃度を示しているが許容値をこえてはいない。しかしTafilalet で採水した3サンプル及びHannabouの1サンプルは許容値をこえており、後者は許容値の倍ちかい値を示した。

6) ナトリウム吸収率 (SAR)

合計21サンプル中、SARが許容値をこえたものはないが比較的高い値を示すものが4サンプルある。

7) 水質によるグループ分け

SARの高い水は作物に被害を及ぼすので、粒度のあらい土壌に用いるか、または薬品による中和が必要である。サンプル水の大部分はC3あるいはC4のカテゴリーに分類される。C3の水はリーチングを防止するため排水をよくしたり、塩害に強い果樹に使用する。C4は灌漑用水としては不適である。また4つのサンプル水では異常に高い電気伝導度(EC)を示しこれも灌漑用水にはむかない。

7.3.3 考察及び結論

水質分析の結果、土壌の電気伝導度(EC)を4 mmhos/cm以下におさえるためにリーチング防止のための水が必要である。この値を越えると収穫量が急に減少する。これに必要な水は所要の灌漑用水量の30~60%にもなる。ナツメヤシは塩害にはかなり強いが、この地域ではナツメヤシの樹下に種々の農作物を栽培しているので水を減らすわけにはいかない。

天水や洪水による耕作地は一般に細粒分の土壌で浸透能が低くリーチングの問題は少ない。生産性を高めるためにスプリンクラーによる灌漑を行う場合は注意を要する。この場合、土壌の浸透能はスプリンクラーによる散水率より大きくなくてはならない。また常時散水するため費用がかさみ、ひいては作物の生産単価が高くなる。一方、ドリップによる灌漑はこの地域では不向きである。主たる理由は、塩分の含有率が高いのでパイプの目づまりをおこし効率が低下する。蒸発散量が多いので給水地域の周辺に徐々に塩分が残留して来て土壌の劣化を来す。

灌漑用水の利用方法としては、ダム建設により洪水流を一時貯水池に貯留したのち下流に放流して地下水の涵養を行い下流で汲み上げる方法と、表流水の直接利用があるが、それぞれ一長一短があり、個々のケースについて十分に利用方法を検討しなければならない。

7.4 牧畜用水

7.4.1 水質基準

表7.10に牧畜用水の水質基準を示す。表に示す許容値のほぼ50%に当る濃度は家きん類への用水としての適・不適の目安となるものである。この値をこえた水を長期間与えると何らかの弊害が出る可能性がある。許容値は家きん類以外の一般家畜に対する用水の適合性の判断基準となるものである。

7.4.2 水質分析結果

表7.11に水質分析の結果を示す。分析結果を以下に要約する。

1) 窒素、カルシウム、PH

いずれのサンプルも許容値以内の値を示す。

2) 残留固形分

No.109、No.115のサンプル水が高い含有率を示した。またTafilalet地区から採取したNo.118、No.119、No.120の3サンプル水は許容値以上の残留固形分が見られた。

3) マグネシウム

No.109、No.116、No.118、No.119の合計4サンプルが中間値と許容値の間の値を示す。AoufousからErfoudにむかう途中の自噴水から採水したNo.120サンプルのみ許容値をこえている。

4) ナトリウム

Tafilalet地区からの合計3つのサンプル水が高い含有率を示したが許容値を越えてはいない。

5) 重炭酸塩

No.106、No.114、No.117 それにNo.119のサンプル水がかなり高い含有率を示す。Tinejddadの泉からのサンプル水No.103、Tourougの家畜給水場からのサンプル水No.115とNo.116、それに前述の自噴水からのサンプル水No.120は許容値の2倍から5倍もの重炭酸塩を含んでいた。

6) 塩素

合計6サンプルが中間値と許容値の間の値を示す。そのうちNo.109、No.114及びNo.115は低め、No.118、No.119及びNo.120のサンプルは高めの値となっている。

7) 硫黄分

No.109、No.118、No.119 及びNo.120 の合計4サンプルが許容値をこえている。この他、No.115 サンプルも割合高い濃度を示す。

7.4.3 考察及び結論

牧畜用水としての適、不適は主として、重炭酸塩、残留固形分それに硫黄の含有量による。レリス盆地内での家畜からのミルクの生産率が低いのは、これらの含有量が高い水が与えられているためであろう。Tourougにある家畜給水場で今後、監視すると良い。これらの水は、家庭用飲料水を加えることにより、希釈すれば牧畜用水として利用可能である。

第八章 ランドサット (LANDSAT) データ解析

8.1 目 的

調査対象地域のレリス盆地は、その面積が14,500km²と広く、限られた期間内のスタディにランドサット (LANDSAT) データの利用が必要不可欠である。今回のスタディでは下記の情報を得る為にデータを利用し解析を行った。

- (a) LANDSAT フォールスカラー画像
- (b) 土地利用図
- (c) 冠水区域想定図
- (d) 表層地質図
- (e) 地表含水状況図
- (f) 傾斜区分図

8.2 実施された調査及び解析

上記の目的の為に、利用可能なランドサット (LANDSAT) データの選定を行い、MSS (Multi - Spectral Scanner) の CCT (Computer Compatible Tape) データを使用した。CCT データの検索にあたっては、乾期、雨期、洪水期の三時期とし、雲量が少なく、かつ画質の良好なものを選定した。CCT データは主としてイタリア受信局 (BARTHNET) から入手した。調査及び解析のフローチャートを図 8.1 に示す。

フォールスカラー画像は東京で作成され、これは専門家が現地踏査 (1989年1月7日から1月26日) の際に利用した。引き続き解析作業が東京で開始され、1989年7月末までに作業は完了した。上記の諸図は縮尺25万分の1で作成され、その判読により得られた諸情報はパート“B”作業での基本計画の策定に利用された。

8.3 基礎図の作成及び解析結果

8.3.1 LANDSAT フォールスカラー画像

LANDSAT フォールスカラー画像を写真処理により作成した。この画像は、本調査の各種基礎図の中でも最も基本的なデータとなるもので、他の基礎図の作成にあたり、判読などに参照した。乾期、雨期、洪水期の3時期分をそれぞれ作成した。使用したデジタル画像解析システムの構成を図 8.2 に示す。