

イエメン国
サナア地下水開発計画調査
事前調査報告書

平成3年10月

国際協力事業団

社調二

CR(3)

91-088



国際協力事業団

23802

JICA LIBRARY



1098211(4)

278e2

序 文

日本国政府は、イエメン国政府の要請に応え、同国サナア地下水開発計画調査を実施することを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施することとなった。

当事業団は、平成3年7月2日から同年7月18日まで当事業団社会開発調査部社会開発調査第二課課長代理・末森 満を団長とする事前調査団を同国へ派遣し、要請背景及び内容の確認、資料収集、現地調査を行うとともに、本格調査の範囲、内容及び実施方法について十分協議した結果、Scope of Workに合意した。

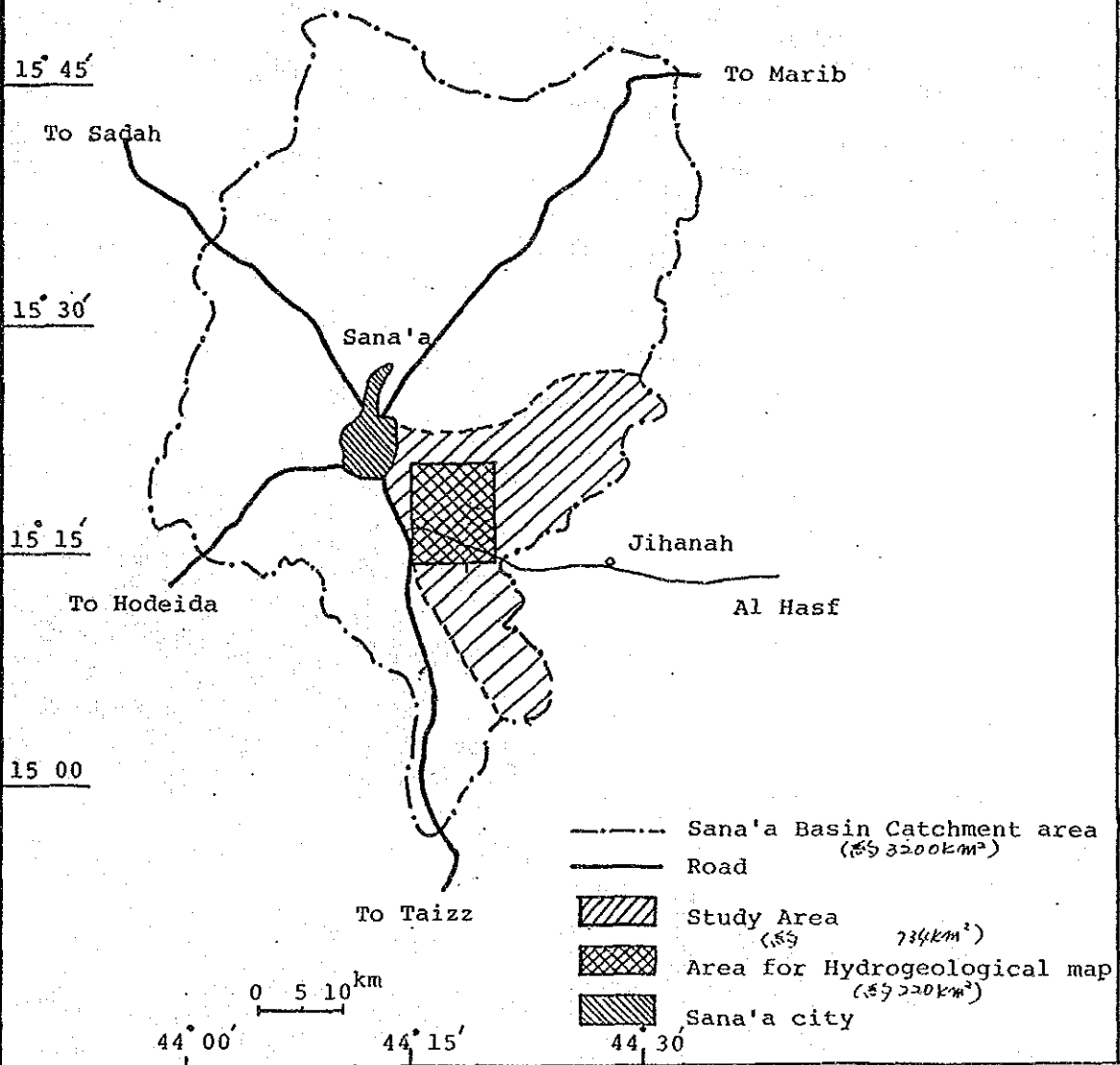
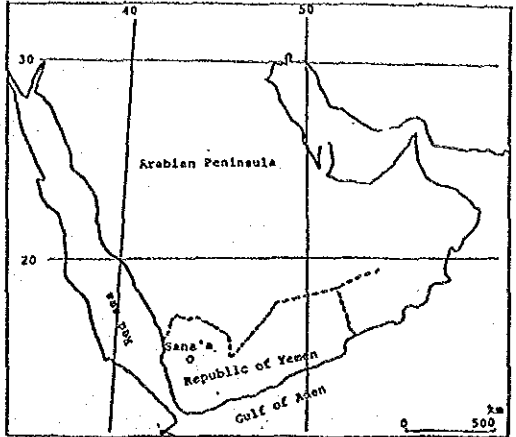
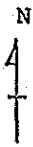
本報告書は事前調査団の調査結果の概要をとりまとめたものであるが、今後の本格調査の立案、検討及び実施に際し、参考となることを期待するとともに、今回の調査実施にあたり、多大のご協力をいただいたイエメン国政府、在イエメン日本大使館並びに関係各位に対し厚くお礼を申し上げる次第である。

平成3年10月

国際協力事業団

理事 玉 光 弘 明

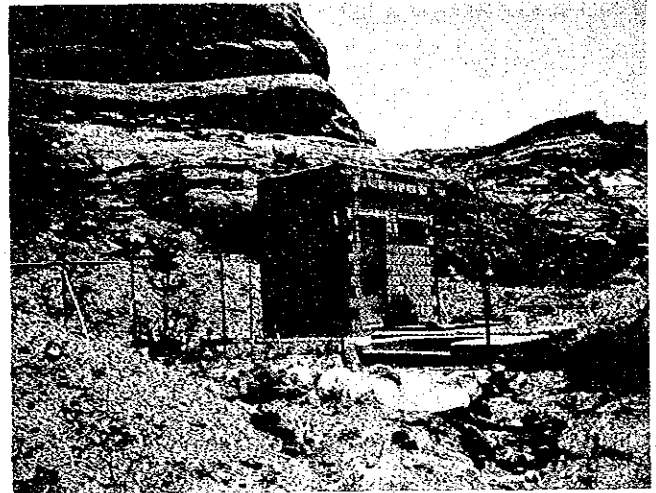
調査対象地域図



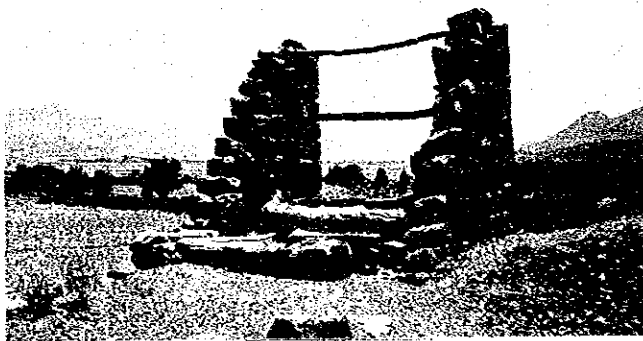


◀ S/W 署名・交換 ('91年7月10日)

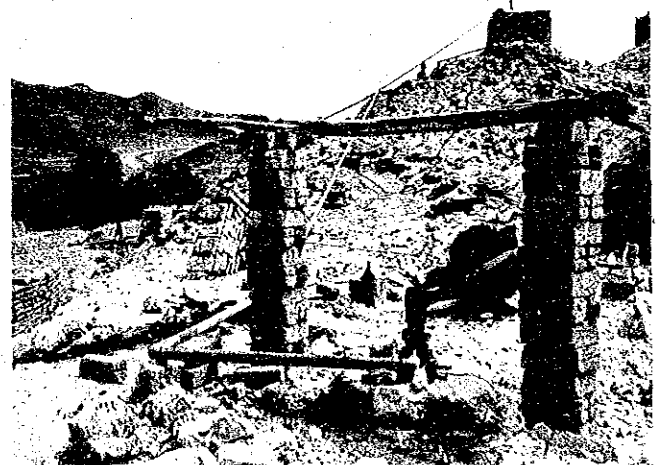
サナア水源井 (Phase II, NoP-1) ▶



◀ Wadi Astal の釣瓶井戸
(現在は枯涸して使用されていない)

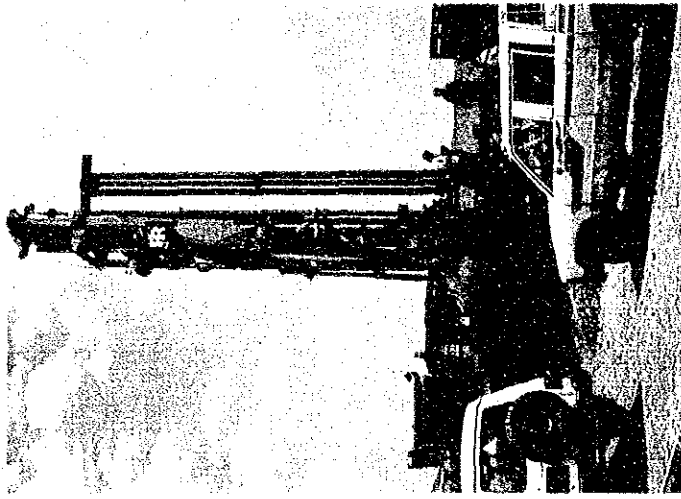


ジハナ南部の深井戸 (タウィラ砂岩層) ▶





▲ Amran 道路沿いに見られる沖積砂層を覆う玄武岩質溶岩



▲ オランダ援助による調査用試験井
(850 m 深井戸削井状況)



▲ サナア盆地西部ホディダ道路高台よりサナア盆地を望む

目 次

序 文

調査対象地域図

調査写真

第1章 事前調査の概要	1
1-1 調査の目的・内容	1
1-2 調査団の構成	1
1-3 相手国受入れ機関	1
1-4 調査行程	1
第2章 事前調査結果の概要	3
2-1 要請の背景及び経緯	3
2-2 要請の内容	4
2-3 日本側の調査対処方針	6
2-4 S/W協議の経緯及び結果	8
第3章 水道事業の概要	13
3-1 水道及び地下水行政組織	13
3-2 NWSAの上下水道事業の概要	14
(1) 組 織	14
(2) 事業の普及率と実績	15
(3) 給水システム	17
(4) 給水事業とその収支	17
(5) 開発予算	19
3-3 NWSAの給水計画の基本方針	20
3-4 開発事業の実施体制	21
3-5 サナア上水道施設の現況	21
3-6 サナア下水道の現況	25
3-7 上水道分野に対する援助の動向	26

第4章 調査対象地域の概要	33
4-1 調査対象地域	33
4-2 自然環境の概要	33
(1) 地 形	33
(2) 地 質	37
(3) 気象・気候	40
4-3 既往の地下水調査	46
(1) サナア流域地下水調査 (UNDP/WHO)	46
(2) サアナ流域地下水調査 (追加調査)	46
(3) サナア流域水資源調査 (ソビエト政府)	46
(4) サナア水道水源調査 (オランダ政府)	47
4-4 地下水開発の現状と問題点	50
(1) 地下水開発の現状	50
(2) 地下水開発の問題点	52
第5章 本格調査の概要	60
5-1 調査の基本方針	60
5-2 目 的	60
5-3 対象地域及び範囲	61
5-4 調査項目及び内容	61
5-5 調査工程及び調査フロー	75
5-6 報 告 書	75
5-7 要 員 計 画	76
5-8 本格調査必要機材リスト	76
5-9 調査実施にあたっての留意点	77

附属資料

1. イエメン国政府からの要請書	81
2. S/W及びM/M	98
3. 面会者リスト	115
4. イエメン国及びサナア市の一般情報	117
5. 質問状及び回答	128
6. 収集資料リスト	142
7. イエメン国の人口予測 (1991年6月19日付 現地新聞)	147
8. 価格調査	148
8-1 一般	148
8-2 物理探査	149
8-3 ボーリング	162
9. NWSAの年報(1990年): アラビア語より和訳	171
10. イエメン国に対する日本の技術・経済協力実績	185

第1章 事前調査の概要

1-1 調査の目的・内容

イエメン国政府の要請に基づき、次の目的により事前調査を実施した。

- 1) 相手国の要請内容の確認
- 2) 相手国の調査の実施体制の確認（実施機関、投資規模）
- 3) 既往調査、既存資料の確認、収集・予備解析
- 4) 現地の状況調査
- 5) 調査内容（対象地域、重点分野、調査期間）の意向確認
- 6) 実施調査の Scope of Work (S/W)、Minutes of Meeting (M/M) 協議、署名
- 7) その他、本格調査の実施方針を検討するのに必要なデータ、資料の収集、調査

1-2 調査団の構成

事前調査団は次の5名で構成された。

担当分野	氏名	所 属
団長・総括	末 森 満	国際協力事業団社会開発調査部社会開発調査第二課
政策協力	地 引 万由里	外務省中近東アフリカ局中近東二課
地下水開発	丸 尾 祐 治	国際協力事業団国際協力専門員
調査企画	古 川 光 明	国際協力事業団社会開発調査部社会開発調査第二課
ボーリング計画	徳 田 啓 司	㈱日さく

1-3 相手国受入れ機関

National Water and Sewerage Authority (NWSA) : 全国上下水道公社

Ministry of Electricity and Water (電気・水省) の管轄下。

1-4 調査行程

事前調査団の派遣期間は平成3年7月2日より同年7月18日まで（17日間）であり、日程の詳細は次頁のとおりである。

日順	月日(曜日)	調 査 内 容
1	7月2日(火)	東京～フランクフルト
2	3日(水)	フランクフルト～サナア
3	4日(木)	日本大使館表敬、打合せ 計画開発省表敬訪問、電気・水省表敬・打合せ NWSA表敬・打合せ
4	5日(金)	現地踏査(マリブダム等)
5	6日(土)	High Water Council 表敬・打合せ UNDPプロジェクトチームとの打合せ オランダプロジェクトチームとの打合せ 現地踏査(試掘現場) 資料収集
6	7日(日)	現地踏査(サナア東部地域、ハババス泉等) Civil Aviation and Meteorology Authority 表敬・打合せ
7	8日(日)	NWSAにてS/W協議、資料収集 UNDPプロジェクトチームとの打合せ
8	9日(火)	General Department of Hydrogeology (GDH) 表敬・打合せ Survey Authority 表敬・打合せ NWSAにてS/W、M/M確認 資料収集
9	10日(水)	S/W、M/M署名 日本大使館報告
10	11日(木)	(団長、地引、丸尾、古川団員) イエメン発13日帰国 (徳田団員) 資料収集
11	12日(金)	(徳田団員) 資料整理
12 ↓ 15	13日(土) ↓ 16日(火)	(徳田団員) 資料収集
16	17日(水)	(徳田団員) イエメン発
17	18日(月)	(徳田団員) 日本着

第2章 事前調査結果の概要

2-1 要請の背景及び経緯

(1) 要請背景

サナア市はイエメン・アラブ共和国の首都（1990年5月22日南北統一イエメンの後の首都）で、国土の中央部、標高約2,200 mの高原に位置する。その人口は1975年には10万人程度であったが、政治的に安定した1979年以降、急速に増加し、現在では90万人以上（1991年）と推定されている。サナア市の水道は、全国上下水道公社（NWSA）により供給されているが、その増大する需要を賄うことができず、現在サナア市の水道需要の50%～60%は小規模の民間水道、井戸などによって補われている。また、これらの水供給はすべて地下水に依存しているが、近年、井戸の水位が低下してきており、新たな水源の確保が急がれている。

サナア市の水道計画は、UNDP（国連開発計画）とWHO（世界保健機構）の技術・資金協力により1972年に作成された第1次マスタープランにより始まり、このマスタープランに従い第1次開発が1979年に、第2次開発が1982年に、いずれもIDA/世銀の資金により完成し、現在に至っている。

一方、NWSAの下水処理施設に関しては、旧市街地区（全市街地の8%程度）を除いては全く施されていない。下水施設のない市街地の下水は個別の浄化槽で処理されているが、不十分であり、衛生状況を悪化させているのみならず、唯一の水源である地下水の汚染が心配されている。サナア市の下水道整備マスタープランは、上水道マスタープランと同様、UNDP/WHOの協力により1976年に作成され、その第1次開発はサウジアラビアの資金援助により1988年に完成している。この第1次開発により下水収集システムは、全市街地の約25%完成したが、下水処理場の能力がネックとなり、現在、全市街地の約8%が下水道サービスを受けているにすぎない。NWSAは、下水処理場の拡張を緊急案件として実施すべく、現在、イタリア政府等と接衝中である。

サナア市周辺の降雨量は少なく、河川はすべて涸れ川（ワディ）となっている。したがって、地下水が事実上唯一の水源である。サナア市水道の水源は西部井戸群（Western Wellfield）と東部井戸群（Eastern Wellfield）であり、地下水脈は第1次マスタープラン作成時に発見された深さ300 m～450 mに位置するタウィラ砂岩帯水層（Tawileh Sandstone Aquifer）である。しかし、近年の汲み上げ過剰により、その地下水位は1970年代には70～120 m深であったのが、現在では150 m深程度まで下がり、この傾向は更に進行している。サナア市近郊での農地灌漑用地下水の汲み上げは規制されているが、サナア流域では、約5,000本の灌漑用井戸があり、主にタウィラ砂岩帯水層より地下水を汲み上げていることも、この地下水位

低下の一因と考えられる。

(2) 経緯

上記(1)の背景のもと、第3次水道開発と第2次下水整備が第3次国家5カ年計画（1987～91年）に含まれている。しかし、NWSAは、第1次マスタープランが既に現状に合わなくなっていることから、第1次マスタープランによる次の開発を実施するのではなく、はじめに第2次マスタープランを作成し、この第2次マスタープランによる第1次開発を進めるのが適策であると考えている。したがって、イエメン政府は本案件の調査を日本政府に対して正式要請（1989年9月）するに至った。

2-2 要請の内容

イエメン政府からの要請内容（附属資料1.）の概要は次のとおりである。

(1) 案件名

(和) サナア上下水道計画調査（第2次マスタープラン調査）

(英) Sanaa Water Supply and Sewerage Project (Second Master Plan Studies)

(2) 調査目的

本案件調査の目的は、以下のとおりであるが、イエメン政府は調査実施中のNWSA要員に対する技術移転も重要な目的の一つと考えている。

- 1) サナア上下水道に関する新しいマスタープラン（第2次マスタープラン）の作成（計画目標年2015年）
- 2) 第2次マスタープランによる優先案件のフェージビリティ調査の実施
- 3) サナア市東部に上水用水源を確保するための表流水及び地下水調査の実施

(3) 調査対象地域

上下水道計画の対象地域は、現在のサナア市街地と将来市街化が予想される地域を含む、いわゆる大サナア首都圏（Greater Sanaa Area）である。

ただし、水源調査の対象地域は、サナア流域内のサナア市より東の地区とし、ハババス泉周辺も含むものとする。

(4) 調査項目

サナア上下水道第2次マスタープランの作成

- 1) サナア上下水道第2次マスタープランの見直しと評価
- 2) サナア市上下水道施設の現状の認識と評価
- 3) 水文、地質、地下水、人口、都市開発計画等第2次マスタープラン作成に必要な資料の収集と解析、及び解析結果に基づく追加調査計画の策定
- 4) サナア首都圏都市開発マスタープランの見直しと社会・経済的要素の評価に基づく2015年

までのサナア市の人口増加と市街地拡大の予測

5) 水道水生産量、配水量、消費量及び生活下水、工場排水の計測方法の確立と計測の開始。
各用水、下水の水質試験

6) 2015年までの水需要及び下水処理必要量の予測

7) 上下水道施設の設計基準の設定と工事単価の見積り

8) 水源よりの導水計画の策定（パイプ・ラインルート、ポンプ場、貯水タンク、貯水池計画を含む）

9) 2015年までの上水道施設拡張計画（第2次マスタープラン）の策定。種々の代替案の比較により最適代替案を選定すること、また既存施設の最大利用を図ること

10) 2015年までの下水道施設拡張計画（第2次マスタープラン）の策定。種々の代替案の比較により最適代替案を選定すること、また既存施設の最大利用を図ること

11) 下水処理基準と処理方法の検討（環境影響評価と処理済み下水の灌漑または地下水涵養利用に関する検討を含む）

12) 主要構造物地点での地形地質調査

13) 上下水道システムマップ（1/10,000）の作成

14) 段階施工計画の策定と投資計画の作成

15) 現地調達可能材料の最大利用に関する評価

第2次マスタープランによる第1次開発計画についてのフィージビリティ調査の実施

1) 追加資料の収集・解析と追加現地調査の実施

2) 下水処理水の灌漑への再利用に関する追加検討（土壌及び営農調査を含む）

3) 上下水道整備第1次開発計画に関する調査及び基本設計

（上水道整備計画）

ポンプは生産井戸、ブースタは導水パイプライン、浄水場、電源施設、貯水タンク及び貯水池、送配水管網等諸施設の設計に必要な地形測量、地図作成、地質調査の実施と設計図書を作成

（下水道整備計画）

下水収集用管網、主下水管、下水処理プラント、電源施設、下水処理水の再利用化施設等諸施設の設計に必要な調査の実施と設計図書を作成

4) 下水処理場の基本設計

5) 必要に応じ、サナア市上下水道施設緊急拡張計画の提案

サナア流域水資源開発ポテンシャルの評価

1) 表流水、地下水に関する既存資料の収集、解析及び評価

2) 既存井戸調査・場所、建設時期、深さ、地下水位、ケーシング法、水質、地質条件、水

脈、揚水試験結果、井戸の状況、現在の利用状況等
既存泉調査・場所、流量、タイプ、地下水脈との関連、水質等
既存表流水・地下水観測状況の評価とサナア流域モニタリングシステム改善のための
提案

- 3) 調査対象地域に対する 1 / 50,000 地質、地層図の作成
 - 4) 地下水開発ポテンシャル総合評価用各種マップの作成
 - 5) 以下を含む地下水調査の実施
 - a 地下水脈と地下水移動に関する地質、地層調査のための物理探査
 - b 地下水開発可能量算定のための揚水試験
 - c テストボーリング計画の策定と業者への発注書類の作成
 - 6) テストボーリングの監督と結果の整理、検討、解析
 - 7) 表流水及び下水処理水の地下水涵養または、その他の用途（農業、工業用）に関する検討
 - 8) 地下水開発ポテンシャルの評価（地区別長期安全揚水量の算定とモニタリングシステムの提案を含む）
 - 9) 既存貯水池の調査・建設年月日、水利用の現状、貯水池容量、貯水池運用、水質等
 - 10) 表流水開発ポテンシャルの評価と将来建設可能ダム地点の選定
 - 11) 水利用者間の水利権の調整
 - 12) 2015年までのサナア水道用水源の提案
 - 13) サナア水道用水源確保のために必要な法規に関する提案
- (5) 調査期間及び工程
約24カ月間を要する。

2-3 日本側の調査対処方針

(1) 要請内容の問題点

イエメン政府の要請内容を事前検討した結果、主要な問題点は次のとおり指摘された。

- 1) 1990年5月22日、南北イエメンが統一され、イエメン共和国となる以前に要請書が出されており、統一後の上位計画が策定されていない
- 2) 調査地域、範囲、精度等が、要請書からは不明確であり、今回調査で要求される範囲、精度等のイエメン側の意向を明確にする必要がある
- 3) 現在オランダ政府の援助によりサナア流域内サナア市より南の地区及び北西の地区に対する地下水調査を実施中（SOURCES FOR SANA'A WATER SUPPLY）であり、オラン

ダ政府とのデマケを考慮する必要がある（対象地域、精度等の確認）

4) 水利用者間の水利権の調整（首相府にあるHIGH WATER COUNCILが担当）

(2) 対処方針

事前調査にあたって、以下の点を対処方針とした。

1) 調査範囲

イエメン国の要請は、サアナ首都圏において、①上下水道マスタープランの見直し、②マスタープランの見直しによる優先プロジェクトのフィージビリティ調査、③地下水を主とする水源調査、である。

(i) 本来、上下水道をセットとして取り扱うことが最適と思われるが、1990年5月22日に南北イエメンが統一されイエメン共和国となり、その後の上位計画が策定されておらず（1992年より新規5カ年計画が開始される予定）、将来のサアナ市の都市開発計画が未作成のもとにおいて、将来の給水人口、消費水量等を把握することは困難であり、将来の排水量を確定することは更に難しいと思われる。

(ii) また、同首都圏の飲料水及び農業用水は、すべて地下水に依存しており、1979年以降の急激な人口増加に伴い揚水量が増大し、地下水位は年々低下しており、新たな水源確保が重要な問題となっている。

(iii) 在イエメン大使館の報告によるイエメン側の要請プライオリティについては、

a) 第1優先順位

I 上水道マスタープランの見直し、及び、地下水を主とする水資源調査

II 上水道マスタープランの見直しにより提案される優先プロジェクトのフィージビリティ調査

b) 第2優先順位

I 下水道マスタープランの見直し

II 下水道マスタープランの見直しにより提案される優先プロジェクトのフィージビリティ調査

である。

したがって、今回調査では、下水道分野は取り扱わず、上水道マスタープランの見直し、同マスタープランの見直しによる優先プロジェクトのフィージビリティ調査及び水資源調査を実施することとする。

ただし、上水道マスタープランの見直しについては、需要面については、マクロ的な人口把握からの需要想定を行い、また、供給面については、水資源調査の結果を基に需要に対する可能揚水量（＝限界揚水量）を算定し、井戸、ポンプ場、既存給水施設への接続までの送水管・貯水施設までの見直し、及び、計画・設計を行う。それ以降の給・配水管の

計画までは、本件調査の範囲には含まないこととする。目標年次を設定し、その将来需要が可能揚水量（＝限界揚水量）を越える場合は、新規代替水源についての提言を行うことにとどめることとする。

また、オランダ政府援助対象地域に関しては、オランダ政府とのデマケを考慮する必要があり、以下について考慮することとする。

① オランダによる地下水調査は、与条件として解析・検討をすることとし、それ以上の補足調査（物理探査、試掘等）は、オランダ政府調査対象地域（サナア市より南の地区及び北西の地区）に関しては、原則として実施しないこととする。

② 将来需要予測については、オランダ地下水調査により実施している場合は、その需要予測が南北イエメン統一前か後のどの時点で実施されたのかを確かめ、南北イエメン統一前であれば、オランダ調査の将来需要予測の見直しを行うこととする。

2) 調査対象地域

調査対象地域については、大サナア首都圏とするが、地勢条件等を考慮したうえで、NWSAの意向を確認し、調査対象地域の詳細について決定することとし、併せて、オランダ調査対象地域についても確認し、M/Mに記載することとする。

3) タイトルの変更

協議の結果、今回調査では、下水道は取り扱わず、地下水開発計画（水源調査を含む）の策定を実施することとなった場合、タイトルを“STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN GREATER SANA'A AREA”とすることとする。

4) 水利権及び治安

ハババス泉は、現地部族との水利権の問題が予想され、現地部族との面会を実施し、本格調査団の安全の確保等を確認する必要がある。

物理探査、ボーリング等のフィールド調査のための用地の確保及び使用につきNWSAの許可を得る必要がある。

5) 補足調査

既存資料の賦存状況及び現地踏査を踏まえて補足調査（物理探査、ボーリング、揚水試験等）が必要か否かを検討する。また、必要となる補足調査の内容、範囲、精度、経費等についても検討する。

2-4 S/W協議の経緯及び結果

事前調査団は、日本で打合された対処方針及びS/W(案)を基に全国上下水道公社(NWSA)及び関係省庁（UNDP及びオランダプロジェクトチームほか）との協議及び現地踏査の結果を踏まえ、7月10日、NWSA Al-Fusail局長と末森満事前調査団長との間で、S/W及

びS/W協議に係るM/Mの署名、交換を行った。

主な協議内容は、以下のとおりである。

- (1) サナア市は、南北統一後の首都となり、官公庁及び在外公館等の移転、また、湾岸危機に伴い30万人に及ぶ同地域（特にサウジアラビア）からの帰国者による急激な都市化により、住宅、水道等の生活インフラの不足は、本件要請時点（1989年9月）より、深刻さを増している。かかる現状下において、本件調査は送水管を含む地下水開発とすることで合意したものの、イエメン側は本件調査完了後のプロジェクトへの資金協力、上水道施設（給配水管）の整備及び、地下水汚染及び生活環境の悪化と下水道整備についての調査についても日本の協力を得たい旨、強い期待を表明した。
- (2) サナア市上水道整備計画について、UNDPの協力で首相府の水資源管理委員会(High Water Council)のもとに進められている全国水資源開発計画調査においてサナア流域表流水、地下水ポテンシャルの概略評価が実施される予定で、また、NWSAに対するオランダの協力でサナア市北西部及び南部（サナア市より南方10kmまで）のマスタープランレベルでの地下水開発計画が策定される予定である。サナア市の急増している将来の水需要に対応するためには地下水及び表流水（ダム建設）を含めサナア流域及びその周辺の水資源開発ポテンシャルの調査が緊要とされており、特に、サナア流域の東南部一帯の地下水に関する詳細調査は実施されておらず、当該地域の地下水開発の可能性・評価を今回調査の第1段階の主目的とすることでイエメン側と合意した。

これまでに実施ないし実施中の調査は、基礎調査レベルにとどまっており、イエメン側としてはサナア流域全体の地下水開発基本計画が整った後、優先地域（プロジェクト）に対するフィージビリティ調査（F/S）の実施を強く希望し、そのF/Sの実施について、当初方針どおり我が方の協力に含めることで合意した。

- (3) プロジェクト・タイトル

NWSAより、プロジェクト・タイトルを“The Study on Groundwater Development in Sana'a Area”を“The Study on Groundwater Resource Development for Sana'a”にしてほしい旨、要望があり、調査内容からして、変更しても支障がないことから、先方の要望どおり、“The Study on Groundwater Resource Development for Sana'a”にすることで合意した。

- (4) INTRODUCTION

S/WのINTRODUCTIONの“in accordance with the relevant laws and regulations in Japan”の位置は、“FEASIBILITY STUDY ON RURAL TELECOMMUNICATIONS NETWORK IN YEMEN ARAB REPUBLIC”（1984年5月28日）及び“THE URBAN TRANSPORT STUDY IN THE YEMEN ARAB REPUBLIC”（1987年6月17日）の過去

2件の前例に基づき、合意した。

(5) 調査対象地域及び目的

今回の対処方針としては、サナア上水道マスタープランの見直し、マスタープランの見直しによる優先プロジェクトのフィージビリティ調査及び水資源調査を実施することからサナア地下水盆を調査対象地域としていたが、イエメン側より、サナア地下水盆の大部分は、イタリア、ソビエト、オランダ等の調査により調査済み、または調査中の対象となっており、サナア流域の東南部に調査を絞ってほしい旨、要望があった。上記(2)で記したとおり、UNDP、オランダも現在調査中であり、調査の重複を避けるために、サナア流域の東南部を調査対象地域とすることで合意した。調査対象地域は、地図上に境界線を記入し、ANNEX I IとしてM/Mに添付した。

また、調査目的も次の内容で合意した。

1) サナア流域東南部での地下水ポテンシャル評価

水理地質図の作成については、東経 $44^{\circ}15' \sim 44^{\circ}23'$ 及び北緯 $15^{\circ}13' \sim 15^{\circ}22'$ で囲まれた、およそ 220 km^2 を $1/50,000$ の縮尺で作成し、凡例は、国際的な標準に準拠するものとする。

Al Hasfで現在サナアへの供給源として使用しているタウィラ砂岩層が露出していることから、サナアからJihanahを通りAl Hasfに至る道路沿いも今回の調査対象地域とし、水文地質調査を中心とした概査を行う。

2) 水需要予測調査の実施

マクロ的な人口把握からサナアにおける需要想定を行う。また、サナアへの給水計画を策定するうえで、調査対象地域内での地方への水配分も考慮した給水計画となるよう、サナア流域東南部のサナア市街外の地域についての需要想定も併せて行う。

3) 優先プロジェクトの選定

サナア流域東南部での地下水開発の可能性・評価を行い、サナア流域全体の地下水開発基本計画が整った後、NWSA及び関係機関と協議のうえ、優先プロジェクトの選定を行うが、選定は、オランダの調査等の結査及び報告書を十分に吟味したうえで行う。優先プロジェクトは、サナア流域東南部とは限らず、サナア流域全体の中から選定する。

4) 優先プロジェクトに対するF/Sの実施

優先プロジェクトが、サナア流域東南部外の場合は、オランダの調査等の結査及び、報告書を与条件として取り込み、地下水開発計画を策定する。

地下水開発計画では、井戸、ポンプ場、送水管及び貯水施設までの設計にとどめる。

(6) 調査工程

調査工程は、現時点では、試掘に係る調査期間がどれくらいかかるか確定できないため、S/Wでは、調査開始から最終報告書の提出までを22カ月としているが、試掘期間の長短及

びオランダの調査等の工程によっては、調査期間の変更もあり得ることで合意した。

(7) 資機材等の免税

調査団は、調査用資機材等の免税輸入につき、早急なる便宜供与を要望しておいたところ、計画開発省担当課長から、(i)かかる措置をとるためには、本来、政府間の基本合意書（技協協定）が必要とされており、我が方においても右締結の可能性を検討中であるとの了解のもとに特別の便宜を与えている、(ii)ただし、そのための関係省庁（電気・水省、計画開発省、大蔵省等）間の調整に、その都度、多大の労力と時間を要することは避け得ない、(iii)今後、かかる措置を容易かつ早急に担保するためにも、基本合意書を早急に締結されるよう強く要望する旨、説明があった。

(8) カウンターパート

調査団は、NWSAに対して本件調査を円滑に進めるうえで必要なカウンターパート（プロジェクトマネージャー、水理地質、水文、物理探査、ボーリング、給水計画、経済分析等）を調査期間中、各本格調査団員に対してNWSA側から配置し、それらの予算措置を行うよう、イエメン側に要望した。

(9) JICAの役割

NWSAから、本格調査団の費用の出所につき、明確にしてほしい旨の要望があり、本格調査団の調査にかかる費用は、全額、JICAでカバーする旨の説明を行った。

(10) サポート・スタッフ、事務室、車両、及び必要機材の手配

調査団はNWSAに対して、本格調査のために必要な机、椅子、キャビネット等を含む事務室の提供、必要車両と必要機材の手配、及び、サポート・スタッフ（タイピスト、秘書、ドラフトマン等）の手配を要望した。NWSAは、事務室の提供には合意したものの、車両不足及び予算の制約もあり、車両を含む必要機材の手配、及び、サポート・スタッフの手配は、日本側の負担、また、調査終了時には、調査用機材の供与をしてほしい旨、強く要望した。（品目はM/M ANNEX Ⅲに記載）

(11) 試掘

本件調査で実施する試掘の総延長は、約4,000 mとすることで合意した。

(12) 水質分析

水質分析は、NWSAのラボで実施することで合意した。また、必要に応じて、試薬・器具は、JICAで本格調査時に購入することで合意した。

(13) 関連資料の収集

NWSAは、事前調査団がNWSAに提出した質問表に基づき、事前調査団滞在中に収集できなかった資料を本格調査が開始されるまでに収集するよう努力することを約束した。

(14) 用地確保

調査団はNWSAに対して、本格調査で実施される試掘及び物理探査のための用地の確保を依頼し、NWSAはそれを約束した。

(15) 研修員受入れ

技術移転に関し、カウンターパートへのOJTの実施及び日本における技術の研修にカウンターパートを受け入れてほしい旨、NWSAは要望した。

(16) フォローアップ

イエメン政府として本件調査を緊要なものとし、本件調査結果に基づき日本の無償資金協力により実施に移したいとの強い希望をもっている旨、表明した。

第3章 水道事業の概要

3-1 水道及び地下水行政組織

イエメン国政府は1962年の革命以来、水資源部門の行政上の重要性を認識し、飲料水供給事業として当時の公共事業省(Ministry of Public Work 以下MPW)の管轄下に地方給水局(Rural Water Supply Department 以下RWS D 1972年設立)と全国上下水道公社(National Water and Sewerage Authority 以下NWSA 1973年設立)を設置した。

NWSAは主要都市と地方都市における生活用、商業用、産業用の上水道事業及び下水道事業を実施する機関であり、地方給水局(RWS D)は地方における給水システムの建設を実施している。

NWSAは主管省を1981年、地方自治省(Ministry of Municipalities)に、更に1989年水・電気省(Ministry of Electricity and Water 以下MEW)に移轄されているが、一貫して独立採算制の組織として、都市の上下水道事業を行っている。

RWS Dは1989年MEWに移管され、村落部における給水プロジェクトの実施を推進している。建設後の給水システムはその村落に運営、管理を移管しているが、その施設や給水エリアが大規模になる場合、NWSAに移管し、NWSAが運営、管理を行っている。

イエメン国の大部分は山岳地帯や海岸砂丘であり、ここに立地する都市や村落の水道水源のほとんどは地下水に依存している。ここで、無秩序に開発される農業(灌漑)用水としての地下水は、その少量の補給源のため、顕著な環境障害の地下水水位低下という形で表われてきた。このためイエメン国政府は1981年、水資源部門の総合的開発と保全を統括する目的で首相を委員長とする高度水資源管理委員会(High Water Council 以下HWC)を設置した。この委員会は副委員長に副首相を置き、次の八つの各省大臣を委員とした行政の横断的役割を担っている。その8省は、水・電気省、農水省、石油鉱物資源省、商業省、国務・地方省、公共事業・運輸省、自治・住宅省、開発省(前記・副首相兼任)となっている。

しかし、この委員会は設立以来具体的活動がなかったため、1988年、UNDP/DTCD(Department of Technical Cooperation for Development)の協力のもと、専門家事務局を発足させた。この事務局はUNDPの技術援助により、「イエメン北部における国家水資源総合開発計画」(National Water Master Plan in Northern parts of Yemen)を実施中であり、1992年には完了の予定である。

イエメン国政府は前述の如く、必要水資源の大部分を地下水に頼っている現状から、地下水管理については、敏感であった。

1973年には大統領令第13号で、サナア盆地における水管理令を出し、同時にNWSAの設立

を発生している。

しかし、これはイスラム法による慣習や政府の体制が未だ弱体であったことから形骸化していた。

このため1987年、水・電気省新設にあたり、この水管理令を具体的な事項を明確にする修正令を交付するに至った。

この主な内容は次のとおりである。

- ① サナア盆地に加えて、タイズ (Taiz)、ホディダ (Hodeida)、イブ (Ibb)、ダマール (Dhammar) の地下水域を規制対象とした。
- ② 都市への接近度によって、これらの地下水域を大きく二つに分割した。
- ③ 各地下水域の都市周辺部については、農業用水としての井戸掘削は全面的に禁止する。
- ④ それ以外の井戸については、HWCの専門家事務局の井戸仕様に対する助言と、HWCの委員長である首相の承認を得ることにより許可される。
- ⑤ この場合でも、他の井戸との間隔は最低600mとし、掘削深度は200mを越えてはならない。揚水ポンプの容量は日量18m³とする。
- ⑥ 各地下水域の都市周辺地域での井戸掘削は井戸間隔600m以上、揚水ポンプの容量は日量36m³を越えてはならない。

しかし、この行政令が出されても、民間では引き続き井戸工事が行われており、年間4~7mの地下水水位低下が発生しているのが現状である。

1990年5月1日をもって、南北イエメンは平和的統合が行われた。これによる水道事業は、現在MEWのもとで統合されているが、実施現場は分離したままである。今後、経済的に合併していくとのことであった。

3-2 NWSAの上下水道事業の概要

NWSAにおける事業の概要は、同事業団発行の1990年報によると、次のとおりである。

(1) 組織

NWSAの組織は図-2に示すとおりである。すなわちサナアの事業団本部の監督、経営管理のもと、六つの主な支局であるサナア、タイズ、アル・ホディダ、イブ、ダマール、ハッジャにより上下水道の事業を行っている。

このNWSAを構成する職員は次のとおりである。

N W S A 本 部	2 4 7 名
サ ナ ア 支 局	4 9 7 名
タ イ ズ 支 局	3 2 3 名
アル・ホディダ支局	2 1 1 名
イ ブ 支 局	5 9 名
ダ マ ール 支 局	6 1 名
ハ ッ ジ ャ 支 局	6 3 名
合 計	1, 4 6 1 名

このうち、技術部門の専門家は 158 名（全体の 11%）である。また外国人の技術顧問が登用されている。

(2) 事業の普及率と実績

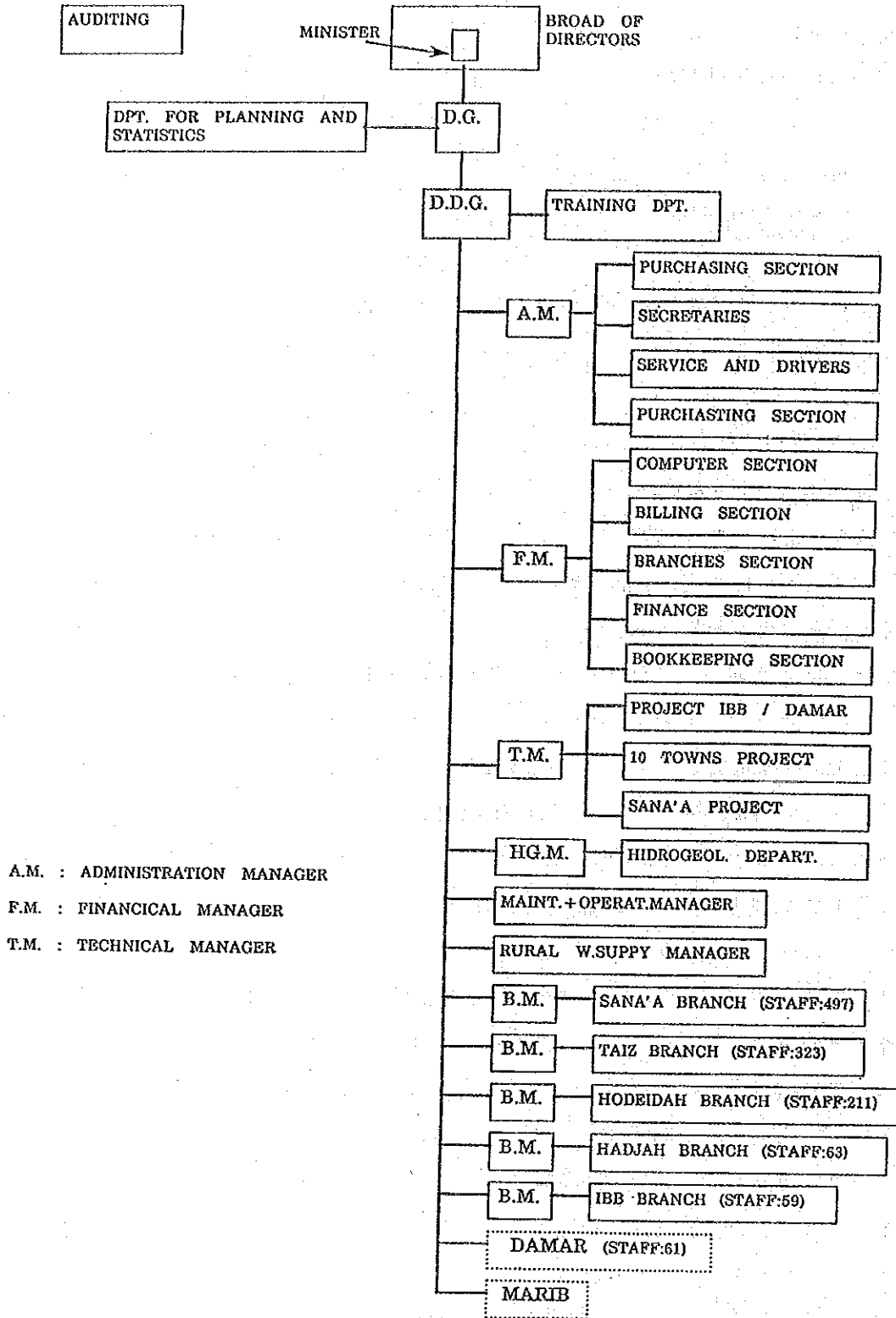
NWSA の支局が置かれている 6 都市の人口合計は、1990 年末で概ね 133 万人である。このうち NWSA の上下水道プロジェクトで、その被益人口は 74 万人に達する。

これは 6 都市総人口の 54% を占める。しかし、下水道の普及率は 21% どまりである。

NWSA は過去 17 年間に、上下水道事業へ総額 23 億 1,800 万リアルルの投資を行ってきた。これらの事業は次のとおりである。

- ① サナアの上水道計画（第 1 期）：1979 年完了、1.22 億リアル
世界銀行、アブダビ基金、イエメン国政府の融資
- ② サナアの上水道計画（第 2 期）：1982 年完了、2.03 億リアル
アラブ基金、イエメン国政府の融資
- ③ タイズの上水道、下水道計画：1982 年完了、6.22 億リアル
アブダビ基金、サウジ基金、USAID、イエメン国政府の融資
- ④ アル・ホディダの上水道、下水道計画：1982 年完了、2.27 億リアル
アラブ基金、世界銀行、イスラム銀行、イエメン国政府の融資
- ⑤ サナアの下水道計画（第 1 期）：1988 年完了、5.85 億リアル
世界銀行、サウジ基金、イエメン国政府の融資
- ⑥ イブの上水道、下水道計画：1990 年建設中、2.62 億リアル
ドイツ基金、イエメン国政府の融資
- ⑦ ダマールの上水道、下水道計画：1991 年建設中、2.7 億リアル
アラブ基金、イエメン国政府の融資
- ⑧ ハッジャの上水道計画：1988 年完了、2,800 万リアル
- ⑨ 1980 年代後半には、次に列挙する地方都市で上水道整備事業を完了した。
ザビート、ベイト・ルフアキア、アル・マンスーリヤ、バージャル、マル・マハ、

☒ - 2 FIG. ORGANISATION NWSA HEAD OFFICE



(3) 給水システム

イエメンの主な都市は、アル・ホディダを除き、すべて山岳部及び中央高地に位置している。そして、集落は、敵襲からの防衛のため、より高い場所に立地している。この集落には、地形を利用した雨水の貯水槽が各所に用いられていた。

このような高地への水道建設は、その大部分が、次のような設計となっている。

- ① 水 源 : 谷地形は涸れ川(ワディ)となっており、表流水は、ほとんど望めない。このため断層など岩盤中の裂カ水型地下水を井戸により取水する。
- ② 揚 水 設 備 : ほとんどが深井戸であり、垂直型のタービンポンプをディーゼルエンジン駆動で利用、近年は水中モータポンプをディーゼル発電機により動かしている。このポンプで地上の貯水タンクまで揚水している。
- ③ 貯 水 タ ン ク : 容量は 100m³~5,000m³のコンクリート製タンクが多いが、近年は鉄製のパネルタンク、FRP製パネルタンクも多くみられるようになった。
- ④ ポンプステーション : 地形の変化で2通りの方法に分けられる。
 - a. 平坦性のある地域はブースターポンプにより直接給水ラインへ圧送している。
 - b. 給水地が高台となっている地域では再び、高い場所に設置した貯水タンクまでブースターポンプで送水する。イエメンでは標高差1,000m以上となるケースも多く、中間ポンプステーションが7段以上となることもある。
- ⑤ 給 水 施 設 : 給水ラインは配管用炭素鋼管(SGP・白ガス管)が使用されている。給水は各戸に接続されているが、一部には共同水栓もみられる。

(4) 給水事業とその収支

NWSAにおける給水事業は、水道施設の建設工事を開発費と呼ばれる各国や援助機関の融資及びイエメン国政府の融資で行い、完成した施設の運営収益(水道利用者からの水道料金徴収)で返済を行うようになっている。

NWSAは何千年もの間、地下に貯えられていた地下水を取水して給水する事業を行っている。水の純生産量は1990年1,771万m³(48.5万m³/日)で、1989年度より9%増加している。

なお、水道料金は次のように下水道設備とリンクした形となっており、下水道設備がある場合、下水道使用料を含んだ料金システムとなっている。

使用量	上水道のみの場合	下水道設備のある場合
1 ~ 10 m ³	YRs 5.4/m ³	YRs 8.5/m ³
11 ~ 20 m ³	6.9	10.6
21 ~ 30 m ³	9.5	14.5
31 ~ 40 m ³	12.6	22.9
41 m ³ 以上	15.5	24.5

(例えば、上水のみで1カ月に15m³使用した場合
 (YRs 5.4 × 10m³) + (6.9 × 5 m³) + YRs 2 = YRs 90.5
 上記 YRs 2 は毎月、印紙代金と請求書代金が加算される)

操業支出

1990年の操業支出は、次のとおりであった。

職員給与	YRs 80,123,997
生産費	31,636,191
給水業務費	14,810,527
計	YRs 126,570,714

これに、ローンの返済、利子の支払いが次のようであった。

ローンの返済	YRs 64,053,000
ローンの利子	11,794,000
計	YRs 75,847,000

これにより操業支出は、合計 YRs 202,417,725 となった。

各支局の支出内訳は次のとおりであった。

	給料	生産費及び 給水事業費	直接の支出 の合計	クレジットの損益 ローンの利子	全支出の合計
サナア支局	23,271,895	15,380,700	38,652,595	37,560,000	76,212,595
タイズ	17,840,695	12,855,949	30,696,644	19,290,000	49,986,644
ホディダ	14,251,357	8,742,312	22,993,669	13,250,000	36,243,669
イブ	2,739,718	1,240,049	3,979,767	1,599,000	5,578,767
ダマール	3,202,812	891,178	4,093,990	1,977,000	6,070,990
ハッジャ	3,469,201	2,110,173	5,579,374	177,000	5,756,374
本部	15,348,319	5,226,367	20,574,686	1,994,000	22,568,686
合計	80,123,997	46,446,728	126,570,725	75,847,000	202,417,725

各支出項目の総支出に対する割合は、給料（40%）、生産費（17%）、給水事業費（7%）、ローンの返済と利子（37%）であった。また、1 m³の水生産に要する費用は全体で YRs 11.4/m³であった。

操業収入

1990年の操業収入は、次のとおりであった。

上水道収入	YRs 157, 632, 879
下水道収入	34, 034, 989
計	YRs 191, 667, 868

各支局の操業収入は以下のとおりであった。

	上水道収入	下水道収入	合計
サナア支局	70, 469, 354	10, 921, 787	81, 391, 141
タイズ	29, 793, 801	10, 741, 689	40, 535, 490
ホディダ	39, 567, 800	12, 371, 513	51, 939, 213
イブ	5, 012, 946	未集計	5, 012, 946
ダマール	5, 247, 721	未集計	5, 247, 721
ハッジャ	7, 541, 257		7, 541, 257
合計	157, 632, 879	34, 034, 989	191, 667, 868

1990年度の1 m³の平均収入は YRs 10.8 と試算された。

収 支

1990年度の操業収入は YRs 10, 749, 846 の赤字であった。このことは1 m³の支出 YRs 11.4 と比べ、1 m³につき YRs 0.6 の実損となる。

(5) 開発予算

1987年から始まった第3次5カ年計画では、NWSAの開発予算として YRs 1, 255, 865, 000 が計上された。そして、1990年までの4年間の同予算は YRs 1, 011, 552, 000 であったが、実際承認された開発費は YRs 548, 885, 258 で54%にしか達しなかった。

1990年の開発費は次のとおりであった。

国内通貨	YRs 6, 706, 929
外国通貨	48, 796, 754
計	YRs 55, 503, 683

その内訳は次のとおりであった。

	国内通貨	外国通貨	合 計
サナアの下水道計画	3, 931, 846	10, 528, 508	14, 460, 354
イブの上・下水道計画	1, 301, 779	24, 946, 588	26, 248, 368
ダマールの上・下水道計画	1, 151, 654	10, 164, 698	11, 316, 352
他の都市の計画		1, 698, 561	1, 697, 561
タイズの上水道網の修理	321, 650	1, 459, 399	1, 781, 049
合 計	6, 706, 929	48, 796, 754	55, 503, 683

3-3 NWSAの給水計画の基本方針

- ① NWSAの管轄する6大都市の上水給水率は54%、下水道の普及率は21%である。しかし、都市への人口流入は最近の大きな問題であり、このため、この普及率はマイナス成長となってしまう。
- ② 上水給水率を高めるには、水道施設の拡張しかない。このため、開発費の増大を財務省に求める。
- ③ 特に首都サナアに関しては、湾岸危機のもたらした帰国難民の増大が人口膨張に拍車をかけ、老朽化した既存水道施設のリハビリテーション、既存水源の能力超過による新水源の開発が緊急案件となっている。
- ④ 現在の都市で消費されている1日の水量は1人平均的に67リットルと試算されている。この消費水量を一般的都市の平均である120リットルに計画する。
- ⑤ 地方都市における新設水道事業の促進。
- ⑥ イエメンの人口増加の試算。

NWSAは人口増加について次のような予測を行っている。年間人口増加率は3.2%としている。

年代	イエメンの人口の合計			イエメンの居住地域に住む人口		
	北 部	南 部	合 計	北 部	南 部	合 計
1990年	11, 315, 000	3, 185, 000	14, 500, 000	2, 716, 000	764, 000	3, 480, 000
1995年	13, 216, 000	3, 661, 000	16, 877, 000	3, 833, 000	1, 062, 000	4, 895, 000
2000年	15, 441, 000	4, 248, 000	19, 689, 000	5, 250, 000	1, 444, 000	6, 694, 000

- ⑦ NWSAの年報による結論と提言は次のようであった。
 1. すべての地域において水資源の調査が早急に必要である。
 2. 農業のために井戸を掘るといような水の無駄使いを禁止させる。

3. 国民へいろいろな目的のため、正しい水の使い方を教育する。
4. 洗濯などに使用した水を農業などへ再利用する。
5. 農村から都市への人口流入問題を解決する。

3-4 開発事業の実施体制

NWSAの開発事業は、サナア本部が統括する。NWSA自体は、計画の立案を行い、資金調達を政府に要請する。小規模なプロジェクトはNWSAのエンジニアが設計し、イエメンの企業への入札を経て、発注する。

大規模なプロジェクトの場合、次のような実施体制となる。

- ① 調査・測量 ・国内外のコンサルタント、調査会社、測量会社へ発注
 - ・石油・鉱物資源省水理地質局及び国家水資源情報センターへ依頼
 - ・国家測地院へ依頼
- ② 設 計 ・国内外の設計コンサルタントへ発注
- ③ 施 工 ・入札により国内外の施工業者を選択し、建設・工事を請負わせる
- ④ 施 工 管 理 ・国内外のコンサルタントへ発注
 - ・NWSA自身のエンジニアが行う

NWSAは施工のための建設機械は基本的に所有していない。

なお、メンテナンスはNWSAのエンジニアが行う場合もあるため、これらの目的の建機は所有している。

3-5 サナア上水道施設の現況

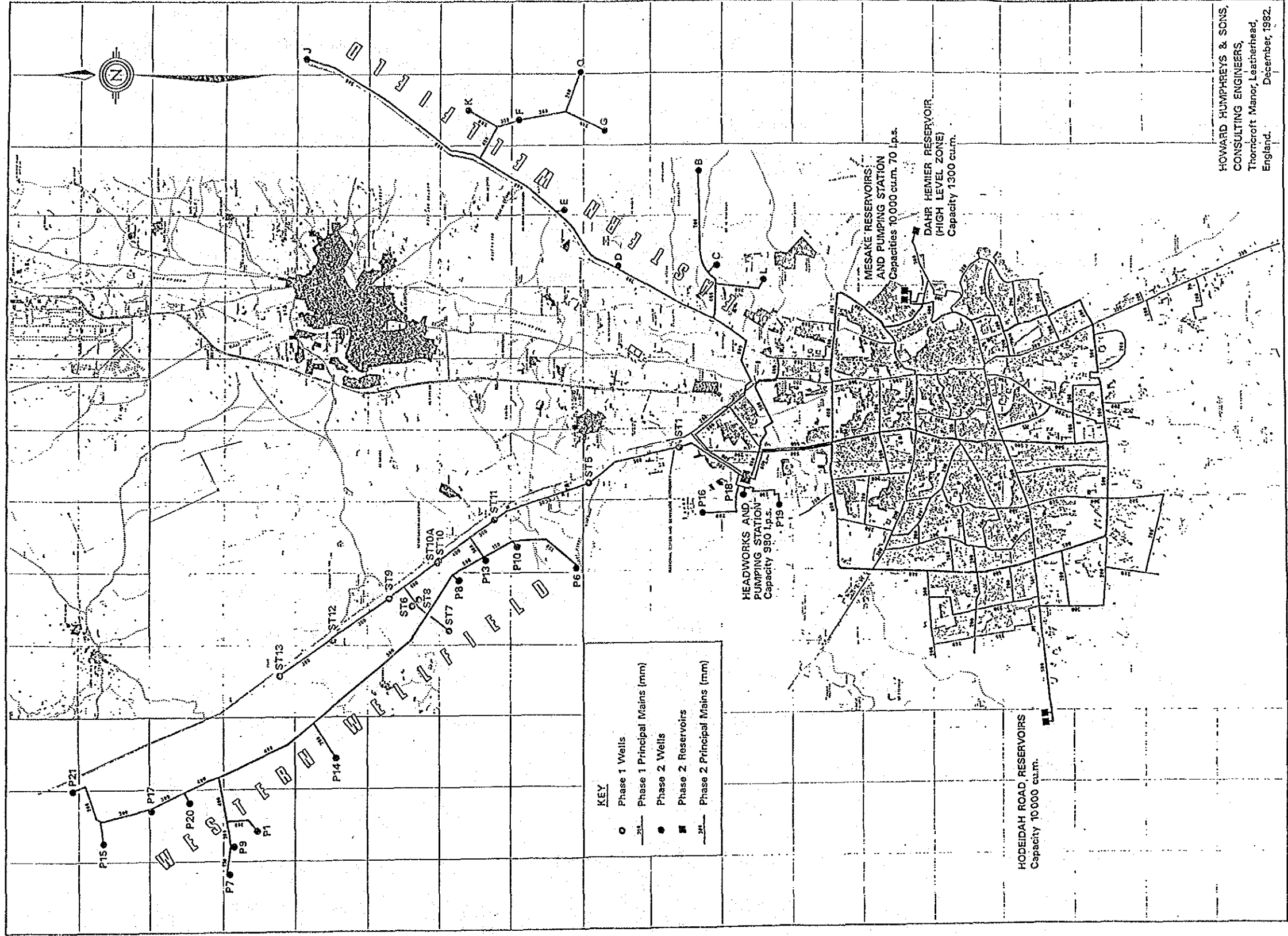
首都サナアの水道計画は、国連開発計画（UNDP）と世界保健機構（WHO）の技術・資金協力により1972年に作成された第1次マスタープランにより開始された。

このマスタープランに従い、第1次開発が1979年、IDA/世銀、アブダビ基金を得て完成し、第2次開発はアラブ基金、IDAの資金を受けて1982年に完成し、現在に至っている。

サナア周辺の降雨量は少なく、河川はすべて涸れ川（ワディ）となっている。このため地下水が事実上唯一の水源である。したがってサナア市水道の水源はサナア給水現状図（図-3）に示すように西部井戸群（Western Wellfield）と東部井戸群（Eastern Wellfield）であり、地下水の主要帯水層は第1次マスタープラン調査時に発見された深さ300～450mに位置するタウィラ砂岩層（Tawileh Sandstone Aquifer）である。しかし、近年の過剰揚水によりその地下水位は、1970年代には70～120m深であったものが、現在では150m深程度まで低下してしまっただ。年間の地下水位低下は4～7mにも達することとなった。

サナア水道施設の現況は次のとおりである。

YEMEN ARAB REPUBLIC NATIONAL WATER AND SEWERAGE AUTHORITY SANA'A WATER SUPPLY



- (1) 水源
- ・当初35本設置された井戸のうち、25本の深井戸稼働（150m～450m深度）
 - ・揚水量：450 ℓ/秒（日量 39,000 m³）
 - ・水中モーターポンプ使用（供給電力を使用）
- (2) 貯水層
- ・5,000m³地上水槽 4基にて 20,000m³
 - ・1,600m³地上水槽 1基
 - ・総貯水能力は 21,600m³
- (3) 導水管・供給管
- ・第2次計画
 - 200～600 mm ダクティル管 : 72 km
 - 150～800 mm " : 31 km
 - 100～150 mm " : 162 km
 - ・第1次計画（古）
 - 300 mm 鉄管 : 0.6 km
 - 250～600 mm 石綿管 : 20 km
 - 80～200 mm PVC : 108 km
 - （最高水位差：60m）
- (4) ポンプステーション
- ・各水源井には水中モーターポンプを設置
 - ・圧送装置として横置セントリフューガルポンプ（340 ℓ/秒×2基）
 - ・ブースターステーションに横置セントリフューガルポンプ（35 ℓ/秒×2基）

(5) ガスによるメッ菌装置

以上の水道施設により、サナア市の 50,000カ所に水道を接続、給水を実施している。このサービスにより71万市民のうち45%およそ32万人の人々が給水を受けている。

現在、緊急プログラムとし次の計画が実施されようとしている。

- 既に使用不能となった6本の井戸の蘇生
- 5本の新設された井戸の使用開始
- 新しく6本の井戸の設置

これらは、1993年を完成目標として24,650 m³/日の生産量増強となり、給水可能量は63,650 m³/日へと飛躍する。

3-6 サナア下水道の現況

サナアの下水道マスタープランは、UNDPとWHOの技術協力により1976年に作成された。そして、その第1次下水道計画は1988年半ばに世銀、サウジ基金よりYRs 5.85億の融資で、オールド・サナア地区に実施された。これは市街区全体の25%に完成したが、処理施設が不十分

であったため、そのサービスを受けているのは8%にすぎない。

また、給水を受けているのは、およそ50,000戸であるが、うち下水道の施設は12,000戸に施されている。

1985年5月には、世銀/WHOミッションにより下水道設備による衛生環境改善と処理済み下水の灌漑への再利用についての協議が行われた。現在、下水道計画への資金調達は英国ODA、イタリア政府及び世銀と交渉中である。

3-7 上水道分野に対する援助の動向

(1) サナア市水道に対する援助

a. サナア流域表流水調査

カウンターパート : 農業・漁業省
援助機関 : ソビエト政府
期間 : 1984 ~ 1986年

b. サナア流域南部及び北西部地下水調査

カウンターパート : 水・電力省、NWSA
援助機関 : オランダ政府
英文タイトル : Sources for Sana'a Water Supply "SAWAS"
期間 : SAWAS-1 1989 ~ 1990年
SAWAS-2 1990 ~ 1991年
SAWAS-3 1991 ~ 1995年(9月)

c. カレッド(Khared)流域ダム開発フェージビリティ調査

カウンターパート : 農業・漁業省
援助機関 : ソビエト政府
期間 : 1988年~進行中
内容 : カレッドダムより70km離れたサナアへ300ℓ/秒の送水について

d. サナア水道生産井掘削プロジェクト

カウンターパート : 水・電力省、NWSA
援助機関 : イタリア政府(グラント、ローンは不明)
期間 : S/Wが最終協議中

e. 北部イエメン水資源開発マスタープラン

カウンターパート : 高度水資源管理委員会
援助機関 : UNDP/DTCD
期間 : 1988 ~ 1992年

(2) 地方都市への援助

- 10地方都市の水道整備計画にドイツ政府とECが総額8,200万ドイツマルクを援助する予定。
- ルダーウ市の上下水道整備計画にオランダ政府が4,000万ギルダールの贈与を行う予定。

(3) 日本の援助実績

日本援助による既完給水事業一覧

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1. OECF Loan Project | a) Rural Water Supply Project, Part I,
Yemen Arab Republic |
| <u>3880 Million Yen</u> | b) Loan Agreement :
No. YA -1 dated Aug. 5, 1977 |
| | c) Construction Period :
Aug. 26, 1988 - Aug. 25, 1993 |
| 2. Grant Project | |
| (Grant - 1) | a) Rural Water Supply Project |
| <u>500 Million Yen</u> | b) E/N : Nov. 17, 1981 |
| | c) Project Period :
Jan., 1982 - March, 1983 |
| (Grant - 2) | a) Rural Water Supply Project |
| <u>500 Million Yen</u> | b) E/N : June 19, 1982 |
| | c) Project Period :
July, 1982 - March, 1984 |
| (Grant - 3) | a) Rural Water Supply Project |
| <u>600 Million Yen</u> | b) E/N : July 30, 1983 |
| | c) Project Period :
August, 1983 - March, 1985 |
| (Grant - 4) | a) Rural Water Supply Project |
| <u>319 Million Yen</u> | b) E/N : April 14, 1987 |
| | c) Project Period
September, 1987 - March, 1988 |

(Grant - 5)

915 Million Yen

a) Rural Water Supply Project

b) E/N : July 21, 1987

c) Project Period

March, 1988 - March, 1989

(Grant - 6)

961 Million Yen

a) Rural Water Supply Project

b) E/N : September 5, 1988

c) Project Period

July, 1989 - March, 1990

OECF Loan Project - 1

A List of Project Sites

Serial No.	Site No. & Area	Governorate	
1	1-1 Jihana-1	Sanaa	⊙
2	1-2 Jihana-2(zabera)	"	⊙
3	2 Al-Kharba	"	⊙
4	3 Al-Dola	"	⊙
5	4-1 Al-Abasir	Dhamar	⊙
6	6 Sanaban	"	⊙
7	7 Jimima	"	⊙
8	8 Al-Waraga	"	⊙
9	9 Al-Swaida	"	⊙
10	10 Al-Kharabat Afik	"	⊙
11	11 Al-Daayra	"	⊙
12	12 Hammed Slaiman	"	⊙
13	14-1 Yarim City-1	Ibb	⊙
14	14-2 Yarim City-2	"	⊙
15	15-1 Al-Aras-1 (Al-Kharabah)	"	⊙
16	15-2 Al-Aras-2 (Al-Jardah)	"	⊙
17	16 Mankath	"	⊙
18	17-1 Al-Aamas-1	"	⊙
19	17-2 Al-Aamas-2	"	⊙
20	18 Al-Radma	"	⊙
21	19 Karaba/Bait Al-Asuwal	"	⊙
22	25 Al-Dhinaem	Al-Baidah	⊙
23	26-1 Al-Baidah City	"	⊙
24	26-2 Al-Homegan	"	⊙
25	27 Saadah City	Saadah	⊙
26	28 Sagain	"	⊙
27	29 Dahean	"	⊙
28	30 Majadh	"	⊙
29	31 Bait Al-Faguit City	Hodeidah	□
30	32 Al-Husainia	"	⊙
31	33 Al-Duraihimi	"	□

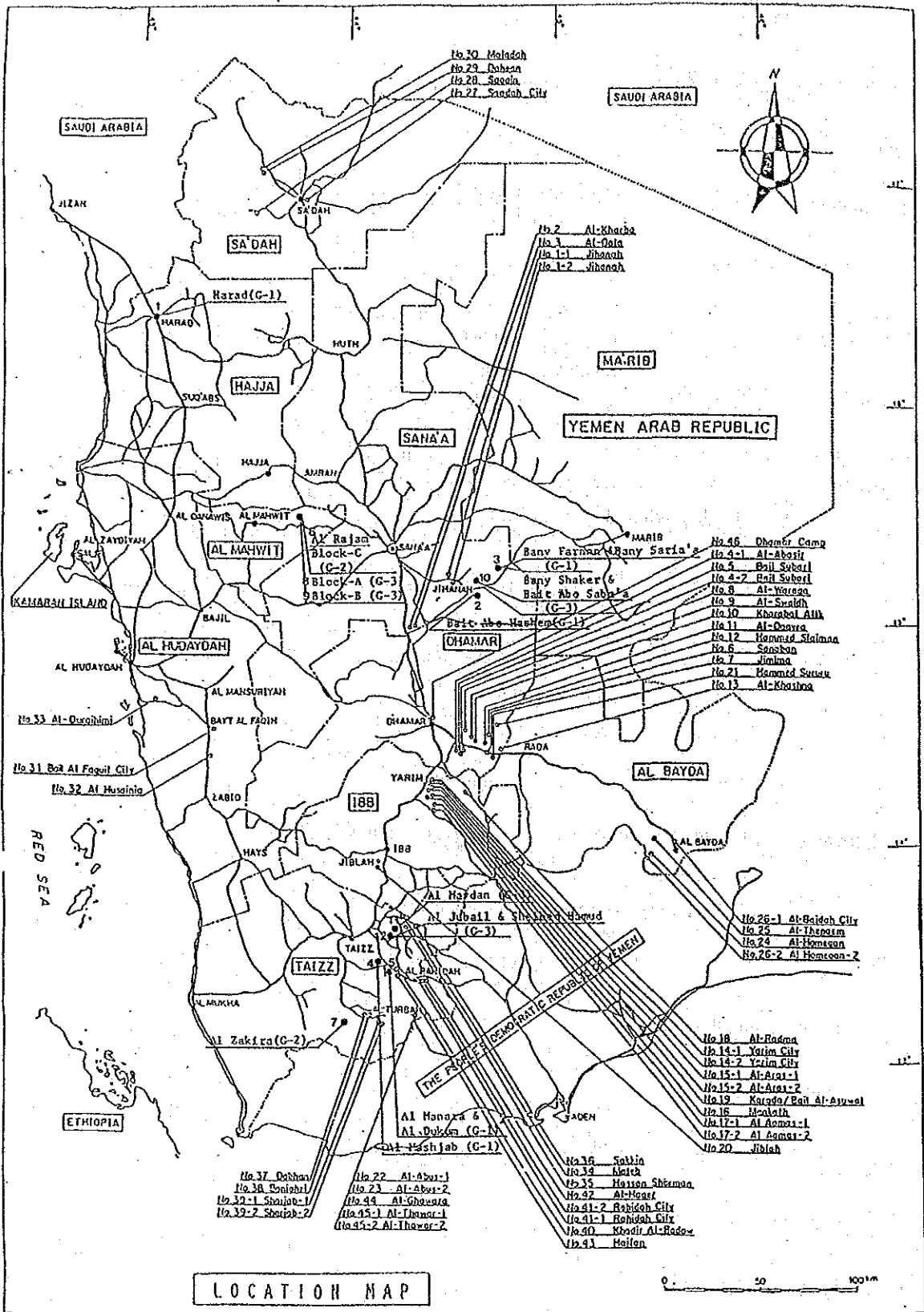
OECF Loan Project - 2

Serial No.	Site No. & Area	Governorate	
32	34 Moteb	Taizz	⊙
33	37 Dobhan	"	⊙
34	38 Banighzi	"	⊙
35	39-2 Sharjab-2	"	⊙
36	41-1 Ranidah City-1	"	⊙
37	44 Al-Ghawaza (Mafalis)	"	⊙
38	46 Dhamar Camp	Dhamar	⊙
39	4-2 Bait Subari	"	⊙
40	5 Bait Subari	"	⊙
41	13 Al-Khashna	"	⊙
42	21 Hammed Surur	"	⊙
43	20 Jiblah	Ibb	⊙
44	24 Al-Homegan-1	Al-Baidah	⊙
45	22 Al-Abus-1	Taizz	○
46	23 Al-Abus-2	"	○
47	35 Hassan Shorman	"	⊙
48	36 Sakkin	"	⊙
49	39-1 Sharjab-1	"	⊙
50	40 Khadir Al-Badow	"	⊙
51	41-2 Rahidah City-2	"	⊙
52	42 Al-Hager	"	⊙
53	43 Haifan	"	○
54	45-1 Al-Thawar-1 (Mafalis)	"	⊙
55	45-2 Al-Thawar-2 (Mafalis)	"	⊙

Grant Project (1 - 3) Project Site

	No.	Site Name	Governorate	
	1	Harad	Hajja	⊙
	2	Bait Abo Hashem	Sana'a	⊙
Grant-1	3	Bany Farham & Bany Saria'a	Sana'a	○
	4	Al Mashjah	Taizz	⊙
	5	Al Mancra & Al Dukum	Taizz	⊙
Grant-2	6	Al Rajam (Block-C)	Al Mahweet	⊙
	7	Al Zakira	Taizz	⊙
	8	Al Rajam (Block-A)	Al Mahweet	□
	9	Al Rajam (Block-B)	Al Mahweet	⊙
Grant-3	10	Bany Shaker&Bait Abo Saba'a	Sana'a	⊙
	11	Al Maydan	Taizz	⊙
	12	Al Jubail&Sheibed Hamud	Taizz	⊙

Note : ○ Well and water supply facilities
 □ Well
 ⊙ Water supply facilities



第4章 調査対象地域の概要

4-1 調査対象地域

調査対象地のサナアは国土を南北に縦走する標高3,000 m前後の西部山岳地帯の東側に沿った中央高原地帯にあり、面積がおよそ3,226 km²にも及ぶ広大な山間盆地を形成する。

サナア市は統一イエメンの首都であり、政治、経済、文化の中心である。人口は過去の国勢調査で、次のように発表されている。

	1975	1981	1986
サナア州	1,041,249	1,740,744	1,856,876
サナア市	135,625	211,150	427,185

—中央企画庁データ（人）—

この期間の平均人口増加率は4.62%であった。しかし、1990年の南北統一でアデンより流入した人口は10万人以上にものぼり、1990年末には71万人と試算されたが、これに湾岸危機で帰国難民したうちの20万人程度がサナアに流入し、調査団には推定で92万人の人口が報告された。一方、現地の新聞報道では、既に現在100万人を越え、2001年には200万人になるのではと予想されている（附属資料）。このため、サナア水道事業で最も重要な水資源確保の必要性は、政府の緊急課題に再確認された。

現在、オランダ政府の技術協力でサナア盆地西北部及び南部における地下水開発調査が実施されている。また、既存水源井地域のサナア盆地北部及び北東部では、イタリア政府の融資（一部無償）により、井戸群の拡張及びリハビリテーションが実施される予定となっている。

このため、イエメン国政府は、日本政府に対して、サナア盆地で地下水調査の未だ実施されていない東南部について、その実施を要請してきた。

この東南部の調査地は調査地域詳細図として図-4-1に示すとおりである。

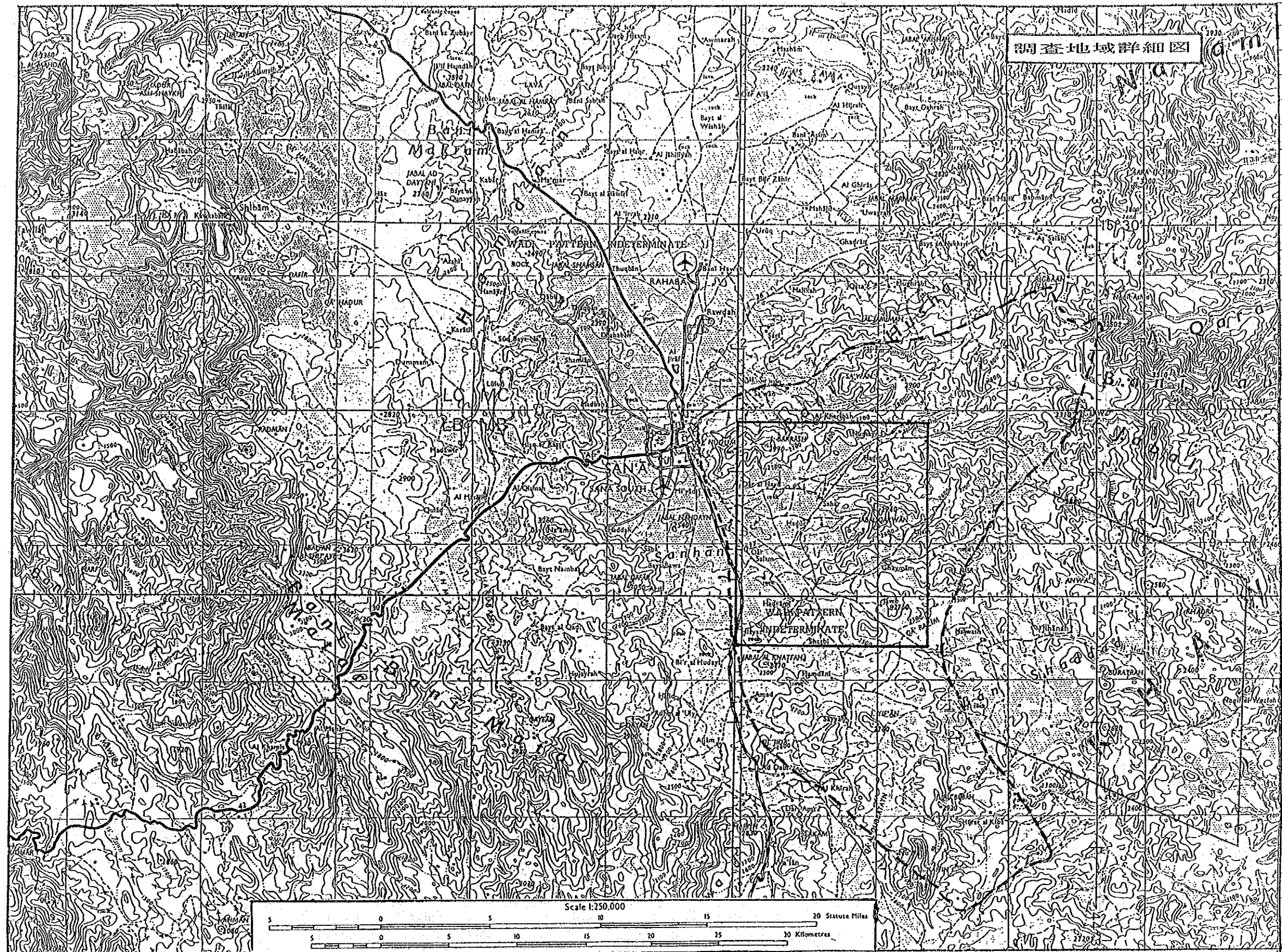
調査範囲はサナア盆地の集水域を示す分水嶺としているが、更に東方15~20kmには、主要な調査対象となるタウィラ砂岩層が広範囲に分布するため、この地域も一部含めるものとする。これにより調査地域の面積は約734 km²となる。

4-2 自然環境の概要

(1) 地形

イエメン共和国は、アラビア半島の西南部にあり、地形的には大きく四つに区分される。

図-4-2にイエメンの地形区分図を示す。



ティハマ海岸平野 (Western lowlands) : 紅海に面しながら南北に約 400 km の延長をもち、幅 30~50 km の紅海地溝に新期堆積した地域である。海成・風成の砂漠平野と山麓部にみられる扇状地から成る。

中央山岳地帯 (Western midlands and highlands) : 紅海より 100 km 内陸に分水嶺を極める隆起山岳地帯が 3,000 m 前後で南北に連なる。これらは西翼、つまり紅海に面する側で、極めて急峻な地形をなし、壮年期の侵食地形を呈している。紅海に注ぐ河川は、この山肌を切り刻んで、更に流下して扇状地へ浸透し涸れ川 (ワディ) を形成する。

中央高原地帯 (Central highlands) : 脊稜山脈の東側は比較的緩傾斜な丘陵が南北に連なる高原地帯となっている。標高的にはサアナ盆地の 2,250 m が平均的で、南のタイズ盆地では 1,500 m 程度である。

東部山地地帯-砂漠 (Eastern highland Eastern & midlands and Eastern lowlands) : 中央高地の東部ではその高度を逐次減じ、ルブ・アル・カリ砂漠に連なっている。この山地にもワディが発達しているが、雨季にのみ発生する流水は、いつしか砂漠に浸透してしまい、尻無川となる。

調査地域は、中央高原地帯に形成された山間盆地に位置し第三紀火山岩層の山地を埋めて、河成・風成・氷河成の第四紀堆積層が標高 2,400~2,500 m の平坦地形を現出させている。

この平坦地の後背には、第三紀の熔結した火砕流堆積物や玄武岩質熔岩の丘陵性の山地が集水域を形取っている。

本調査地域には、この第三紀火山岩山地から南西へ向けて流出するアル・アスファル・ワディが発達する。火山岩山地内では複数の河岸段丘を伴った緩い谷地形をなすが、サアナ盆地北部の平原部になると谷地形は不明瞭となり、尻無川となる。

調査地域に発達するアル・アスファル・ワディ水系の多くの支流部分は平坦地内では明瞭で定まった流路を持たないのが特徴である (図-4-4 等高線地形図及び水系図)。

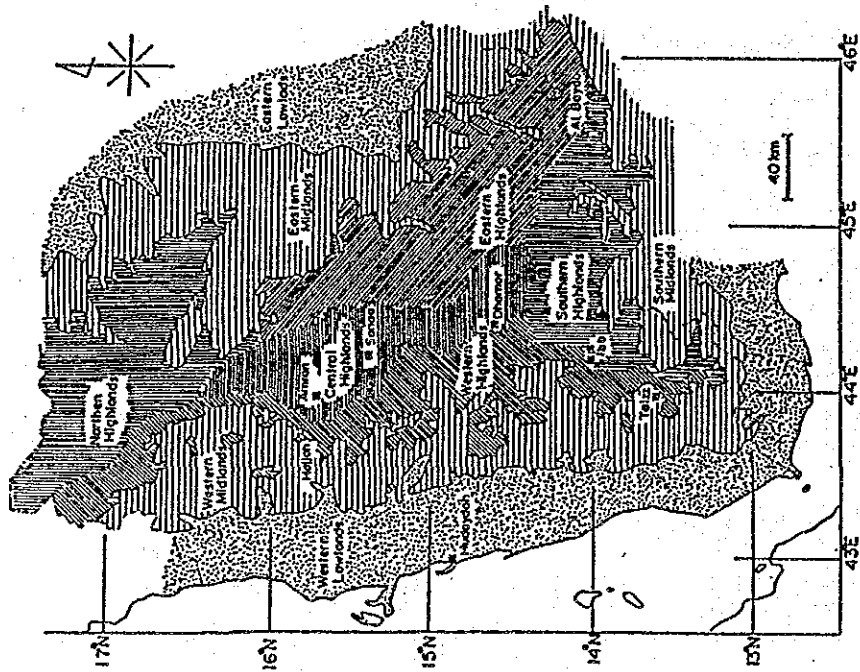
(2) 地 質

アラビア半島は、新第三紀中新世 (約 2,500 万年前) に大地溝帯が生じ、アフリカ大陸から分離して半島化したもので、アラブ卓状地と呼ばれる安定陸塊である。

基盤となる最も古い地層は、先カンブリア系の片麻岩、片岩、花崗岩などで構成されている。これらの分布は添付イエメンの地質図 (図-4-3) にみられるように、中央山岳地帯に継続的に露出して南方へ続くものと、THAMAR 東方に大きな面積で分布するものとがある。この先カンブリア系を覆う地層としては、古生界二畳系とみなされるワジッド砂岩層 (WAJID S.S) が北部地域にみられ、更に、その上部は中生界ジュラ系下部のユホラン累層 (LOHLAN FORMATION)、ジュラ系上部のアムラン累層 (AMRAN FORMATION)、白亜系のタウィラ層群 (TAWILAH GROUP)、古第三系のメジ・ジル累層 (MEDJ-21R

図-4-2

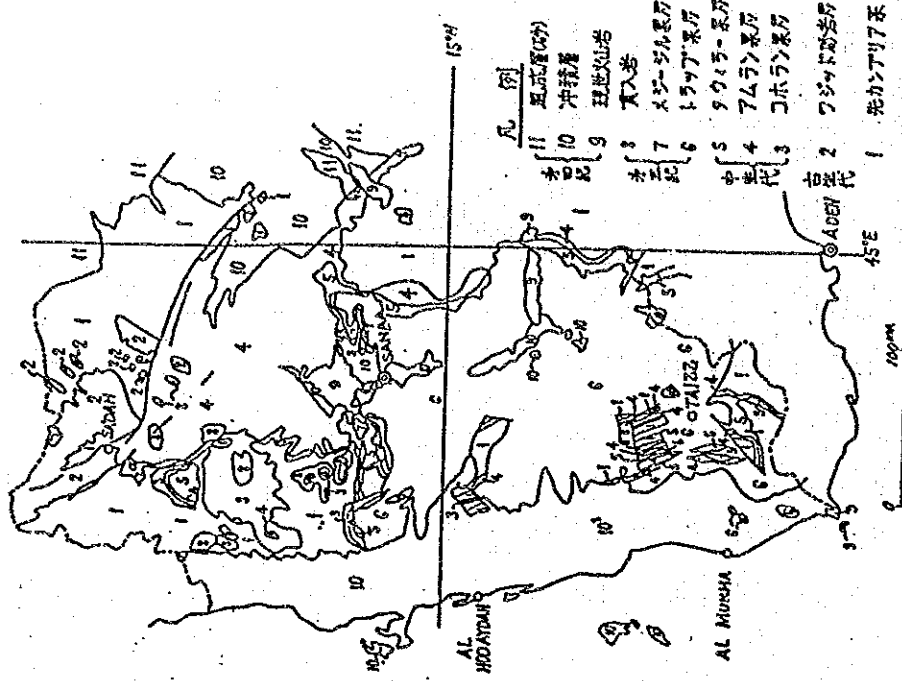
イエメンの地形区分図



(出典：田口、新藤『イエメンの水資源』1981)

図-4-3

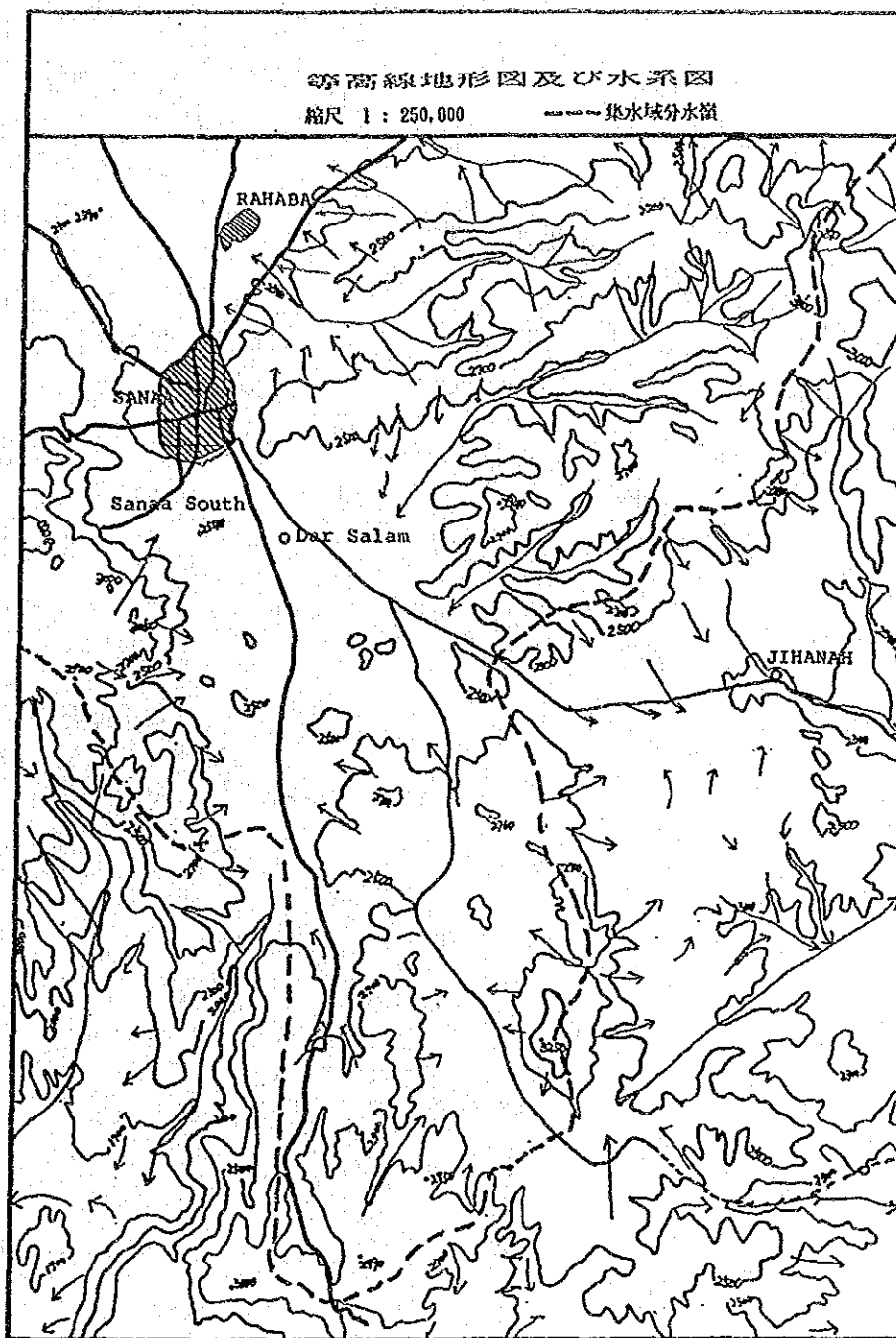
イエメンの地質図



- 凡例
- 11 風成層(砂)
 - 10 沖積層
 - 9 斑状山岩
 - 8 頁岩
 - 7 メジ-ジル炭石
 - 6 トラップ岩
 - 5 タウラ-炭石
 - 4 アムラン炭石
 - 3 コホラン炭石
 - 2 フジッド炭石
 - 1 先カンブリア

GEOLOGIC MAP OF THE ADARIBAN PENINSULA
U.S.G.S. (1965) による。

图-4-4



FORMATION)、更には白亜紀末から第三紀にかけて活動した火山岩及び火山砕屑物を主体とするトラップ累層 (TRAP FORMATION) が広く国土を覆っており、中～南部では更に現世の火山が各所で活動した形跡がみられる。

第三紀以降現世に至る激烈な火山活動は中央山岳地帯から高原地帯にかけて膨大な熔岩と凝灰岩の地層を形成した。

なお、ワディの側壁には幾つかの、河岸段丘がみられ、山麓部には扇状地堆積物、海岸には海成～風成の砂砂漠が形成されている。

これら地質の模式柱状図を図-4-7に示す (T. IGARASHI 1972年による)

a 先カンブリ系

サナア北西地域に分布する先カンブリ系は各種の片岩類と花崗岩で構成されている。また、マリブの南東に分布するものは花崗岩が主体である。

b 堆積岩類

a) ワジット砂岩：サダ以北に分布する淘汰の比較的良好な石英粒より成る粗粒砂岩を主としている。

b) コホラン累層：サナア北西の山岳地帯(最高峰ジャバル・スゥアブ山 3,760mを含む)に分布し、基底部に礫岩層があり、その上部は砂岩と頁岩で構成されている。層厚は一様でないが、200 m前後とされる。

c) アムラン累層：中央高原地帯の北部に広く分布し、石灰質の岩石で構成されている。石灰岩が主だが、頁岩、砂岩を伴う層厚は300 m以上とされる。

d) タウィラ累層：サナア周辺に分布する白色の陸成砂岩で構成され、中間に礫岩を挟在する。層厚は200 m以上とされ、有力な帯水層とされる。

e) イージーラ累層：タウィラ累層とよく類似する砂岩層から成り、ほぼ120 mの層厚を有する。

c 火山岩類

イエメン全土の4分の1をこのトラップ累層が覆っている。この累層は玄武岩、安山岩、粗面岩などの熔岩流、そして凝灰岩、角礫凝灰岩などの火山砕屑物で構成され、極めて厚い累層で最大1,200 mを越えるとされている。

トラップ火山活動に引き続き現世の火山活動が始まった。小規模ではあるが、全土に及び円錐状の山を形成したり、火口をもっており、その大部分が死火山であるが、休火山で硫気孔がみられる所もある。

(3) 気象・気候

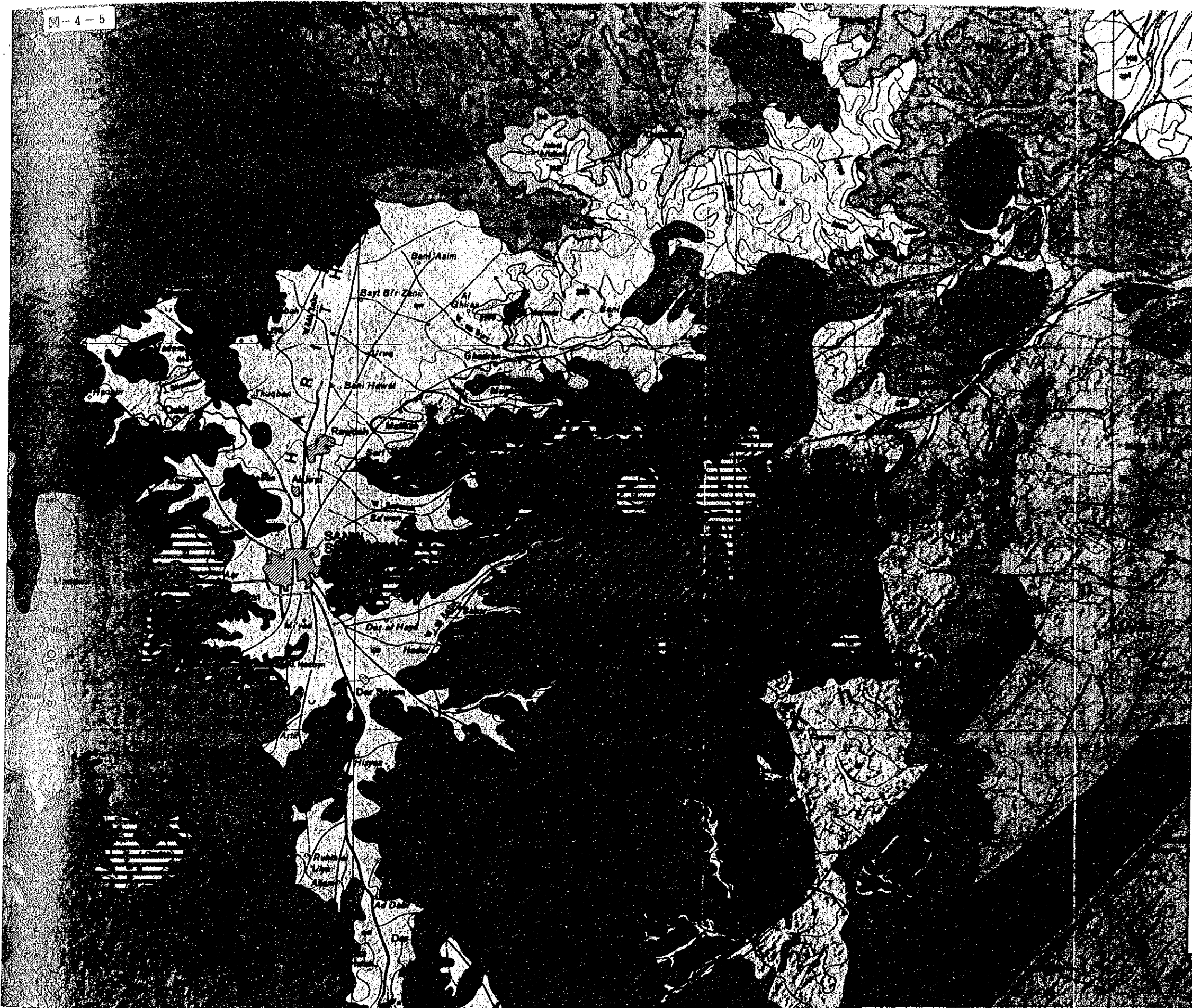
アラビア半島南端のイエメンは北緯13°～17°にあり、熱帯に属するが、海岸地帯及びサウジアラビアと国境を接する東部内陸地域 (Western Lowlands) は冬に僅かな雨が降る砂漠

GEOLOGICAL MAP OF SANA

1 : 250,000

- | | |
|--|------------|
| | Quaternary |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

— Geological boundary
 - - - Geological boundary: uncertain



気候を示し、中央山岳地帯の山頂部（海拔 3,500 m 以上）は高山気候になっている。山地は夏に紅海から吹き上げる風によって湿った空気が運ばれ、背稜山脈の西側に雨を降らす。

イエメンの降水量マップを図-4-6に示す。なお、ティハマ海岸平野の気象と中央高原サナアの気象特性図を図-4-8に示した。

これによると、雨季は春と夏の2回あり、その多くの場合は、午後から激しいスコール性の降雨となっている。年間降雨量は大きなバラつきがあるが、海岸平野が50～200 mm、中央高地が200～500 mmである。海岸平野の月最高気温の平均は35℃～43℃と高く、中央高地は25℃～30℃であった。蒸発散量は海岸平野で年間2,500 mmにも達する。

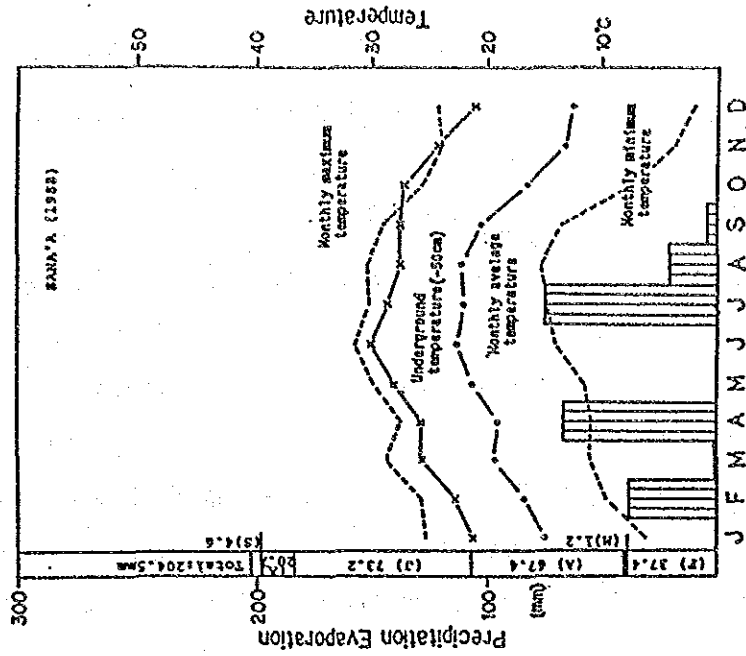
下表にサナアの気候を示す。

サナアの気象

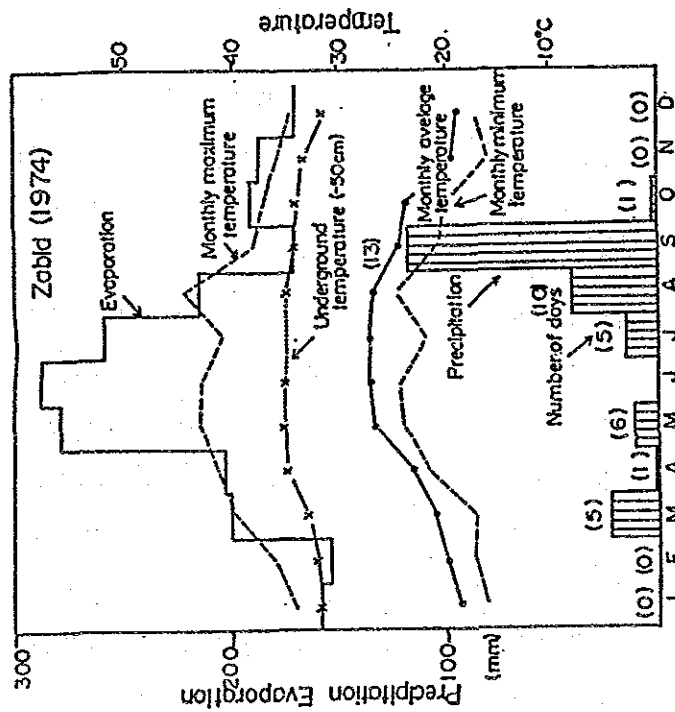
(1986年：統計年鑑)

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
温	最高	24.1	25.7	26.4	25.9	29.7	30.6	31.5	29.1	28.1	25.5	25.6	24.9
	最低	0.5	6.2	10.2	9.5	11.5	12.7	14.1	14.1	10.5	5.6	5.4	4.3
度	平均	12.8	15.9	18.6	17.3	21.3	22.8	22.5	21.3	20.1	16.6	16.9	14.4
降雨量mm		0	1.5	45.8	60.8	4.5	23.6	8.1	63.5	2.1	0	0	3.4
湿度(%)		42	56	55	66	42	42	48	49	42	—	40	30

図4-8 気候（降雨量—温度）特性図



中央高地地帯 サナア（標高約2,250m）



ティハマ海岸平野 ザビッド（標高約20m）
（出典：田口、新藤「イエメンの水資源」1981）

4-3 既往の地下水調査

(1) サナア流域地下水調査 (UNDP/WHO)

サナア市上水道マスタープラン (UNDP/WHO) の水資源としての地下水調査が1971年から1972年にかけてイタルコンサルト (ITALCONSALT) によって実施された。

調査はサナア流域 1,100 km² の北部地域を中心に各種調査が行われ、タウィラ砂岩層が有力な帯水層であり、比較的浅い部分の広い地域に地下水が貯留していることが確認された。

この地域におけるタウィラ砂岩層中の地下水可能開発流量は西側井戸群より 841 l/sec、東側井戸群より 1,046 l/sec と推定され、サナア市の 2000 年時の水需要が 682 l/sec と予想され、十分な水源であるとされた。

この調査では10本の試掘が実施され、1 / 50,000 の水理地質図が作成された。

(2) サナア流域地下水調査 (追加調査)

① 水位変動調査 - LBG Consulting 1976

1976年に水位観測を行い、年間 0.52 ~ 3.75 m の水位低下があったことを報告している。

② サナア水源地域地下水調査 - D. Handasah Consultants 1978

新たに6本の井戸を掘削して水源流量を再評価、その流量は西部井戸群で 564 l/sec となっていることを報告した。その時の透水量係数は $5.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ と試算されている。

③ 第2次水源開発調査 - HH Consulting Engineers

第2次の水源拡張計画のための地下水調査を行い、次のような適正開発量を提言している。

西部井戸群：240 l/sec

東部井戸群：210 l/sec

④ 地下水の年代測定 - Dr. E. Jungfer 1984

Carbon 14 (C¹⁴) におけるサナア水源井の地下水年代測定を実施、3000年から8000年の経過年代を試算している。

(3) サナア流域水資源調査 (ソビエト政府)

北イエメン農業省の要請により、サナア流域及びカレット川流域での水資源調査を1983年より1985年にかけてソビエト政府が実施した。

その対象面積は 3,500 km² に及んでいる。内容は 2002 年を目標年次として、工業用水、サナア・ロード市への水道用水、農業用水の開発計画を策定するものであった。

調査内容は次のとおりである。

① 飲料用及び灌漑用の現在の水消費量の総量

② 5カ年計画による将来の水需要予想

③ サナア流域南部の主要13河川流域での水理地質的深井戸・浅井戸により開発され得る地

下水量

- ④ 25年後までのサナア水源井戸群の地下水開発可能量
- ⑤ 既設水源による水需要に対する供給可能性の評価
- ⑥ 供給不足分に対する技術的提言
- ⑦ 農業開発の将来的評価
- ⑧ 耕地拡大への土壌改良技術の提唱
- ⑨ 水資源や土地の保全のための必要な規制の提案
- ⑩ プロジェクトの経済評価

調査は3,000本の井戸や農業関連の資料作成が行われ、22カ所のダム候補地による現地作業、8地区の土壌メカニズム解析が完施された。この結果は概ね次のとおりであった。

- ・地下水の開発可能量は6,300万 m^3 /年(2,000 ℓ /sec)と試算。
- ・現在の使用量(1984年)は4,800万 m^3 /年で全体の76%であった。
- ・このうち農業澆灌用水は2,600万 m^3 /年使用されており、全体の41%であった。
- ・サナア市では1,800万 m^3 /年の消費量があり、これは全体の21%であった。
- ・サナア市周辺部の消費量は400万 m^3 /年である。
- ・人口予測は次のとおりである。

1986年	1991年	1996年	2006年
350,000人	515,000人	690,000人	1,070,000人

- ・よって水需要予測は次のとおりとなる。

1986年	57,000,000 m^3 /年
1991	90,000,000 m^3 /年
1996	133,000,000 m^3 /年
2006	215,000,000 m^3 /年

- ・農業用水の需要予想は次のとおりであった。

1986年	23,000,000 m^3 /年
2006	100,000,000 m^3 /年

結論として、地下水のみに水源を求める場合、地下水開発可能総量が6,300万 m^3 /年しかなく、現在農業用水として2,300万 m^3 /年が使用されており、残りは4,000万 m^3 しかない。これであれば、1987年には既に給水のための地下水は不足してしまうことになる。

このことから農業省に対して、地下水による澆灌の見直し規制を忠告し、地下水の優先性は水道水源にあることを報告している。

(4) サナア水道水源調査(オランダ政府)

オランダ政府は、サナア水道計画の水資源としての地下水開発調査(Source for Sana'a

Water Supply Project : SAWAS) をNWSA の要請により 1989 年から開始している。

調査は 3 段階に分けて実施されている。

① SAWAS- 1

(a) 目的

- a. サナア市水道システムの問題点の把握
- b. 問題点解決の実際方法の検討
- c. 解決策の提示
- d. 解決策実施上必要な諸検討事項の提示

(b) 実施方法

オランダ専門家とNWSAスタッフとの共同作業 (オランダにおける解析作業を含む)

(c) 工期

1989年1月より8月までの8カ月間

(d) 成果

- a. サナア周辺の水資源及びサナア市上水システムに関する資料の収集
- b. 現在の水源であるTAWILAH地下水脈は既に汲み上げ過多であり、将来 (2010年) の水源となり得ないことの確認
- c. したがって、新水脈の開発が必要
- d. 2010年までの水需要を満たすため“PLANNING MODEL”の作成 (このモデルは今後の調査結果によりADJUST AND UPDATEされる)
- e. 現在の水需要を満たすため現在使用中の井戸群を改善する。例えば、ポンプ配置を最適化することにより相当の水量増加が期待できる
- f. 水利用者制限 (WATER DEMAND MANAGEMENT) の必要性の確認

② SAWAS- 2

(a) 目的

- a. 井戸の増設、測定装置の改善等によるTAWILAH水脈よりのサナア市上水システムの改良
- b. サナア南部に二つの井戸群をつくるための予備調査 (SHIBAM地区)
- c. 新しい水源評価のため必要な地下水及び表流水調査の実施
- d. 調査結果を反映させて“WATER SOURCES PLANNING MODEL”のADJUST AND UPDATE

(b) 実施方法

- a. 現在井戸群及び上水施設の測定装置の改良
- b. ポンプ配置の最適化

- c. サナア南部及びSHIBAM地区（サナア西部）の地下水調査の実施
- d. SHIBAM（サナア西部）東部での地下水調査の実施
- e. サナア地区深層地下水脈の開発可能性に対する予備検討
- f. 雨量、流量観測所の設置と観測の実施
WADI KHARID、WADI SURDID の 2 河川
- g. 上記調査結果に基づく“WATER SOURCECS PLANNIG MODEL”の定期的ADJUSTの実施

(c) 工程

1989年9月より1991年8月までの24カ月間

(d) 要員計画 (SAWAS-2)

- 1 PROJECT COORDINATOR (24M/M)
- 1 HYDROLOGIST (24M/M)
- 1 HYDROGEOLOGIST (24M/M)

(e) 実施状況

現在、サナア南部の地下水調査の一環として850 m調査井の試掘中であった。削井工事は、イエメン業者が契約により実施しており、次のような概要であった。

使用機材

- Ingersolland Model T-5 Top drive type Rig
- Gardner-Denver FXD-172 Mud pump

削井仕様

0 ~ 103 m	15" ドリリング	9 5/8" ケーシングパイプ
103 ~ 483 m	12" "	"
483 ~ 630 m	10" "	"
630 ~ 850 m	8 1/2" "	オープンホール

地質層序

0 ~ 103 m	沖積堆積物	(砂、礫、シルト、粘土)
103 ~ 290 m	トラップ累積	(玄武岩質熔岩)
290 ~ 483 m	"	(玄武岩)
483 ~ 590 m	"	(火山碎屑物)
590 ~ 630 m	"	(凝灰角礫岩)
630 ~ 850 m	タウィラ砂岩層	

1991年7月9日時点で1本目が850 mまで掘削、更に750 mまでリーミング中であった。計画ではもう1本の深井戸掘削が計画されており、1991年までかかる見込みとのこと。

とであった。

③ SAWAS- 3

a. 長期目標

- ・20～25年先のサナア水道水源の水資源開発調査のための計画におけるNWSAへの援助
- ・この計画の活動を支援するための水資源開発可能量の評価
- ・NWSAの水理地質分野の水準向上

b. 実施目標

- ・既設井戸群の最適利用の再評価（モニタリング、ポンプ、導水システムの助言、帯水層モデル）
- ・SAWASによる調査井（深さ1,500～2,000 mを2本程度掘削予定）での水位観測
- ・サナア地域での大深度帯水層（約1,900 m予想のコーラン砂岩層）の開発可能性評価
- ・ワディ・カリッド（Wadi Kharid）からの表流水開発の可能性評価
- ・ワディ・サードッド（Wadi Sudud）からの表流水開発の可能性評価
- ・マリブダムからサナアへの配水可能性の分析
- ・水資源計画モデルの断続的調整
- ・教育による水準向上

c. 工程

1991年9月より1995年8月の4年間

d. 要員計画

- ・イエメン人、チームメンバー：14名（640人・月）
- ・オランダ人：3名

4-4 地下水開発の現状と問題点

(1) 地下水開発の現状

サナア盆地で開発可能な地下水帯水層は、次の4層が主なものである。

a) タウィラ砂岩層

中生代白亜紀の陸生砂岩層で、サナア付近に広く分布しており、その厚さは約370m。タウィラ砂岩層は大小の亀裂が普遍的に発達しているのが特徴で、陸成層特有のポーラスな岩相とあいまって、良好な帯水層を形成している。タウィラ帯水層中の地下水は、部分的な被圧水を除いてすべて不圧地下水であるが、砂岩層の基底には不透水層を成す頁岩層が分布しており、水理的に下部の帯水層とは遮断されている。分布が広く、サナア盆地では一番ポテンシャルが高く、現実が一番開発がなされている帯水層である。

b) トラップ基底玄武岩層

タウィラ砂岩層を不整合に覆って、玄武岩を主体とする第三紀の火山岩類がサナア付近のみでなく、イエメン全域に分布する。本帯水層はこの第三紀火山岩層の最下部に分布するもので、地下水で飽和された部分の厚さは数 m から 300 m と変化に富んでいる。全体に細かな亀裂が発達しているが、開口度は小さく、透水性はそれほど大きくない。下部に分布するタウィラ砂岩層との間には不透水層が存在せず、水理的に連続している。この帯水層に多くの井戸が掘られているが、一般に揚水量は小さい。

c) 第四紀堆積層

サナア盆地の第四紀堆積層は、先第四紀層によって形成された盆状構造を埋める形で堆積した。堆積物は河成、湖成また一部では水河成の層相を示し、1～2 m のシルト層と10～15 m 厚の粗粒な碎屑物層の互層から成っているが、一般的に細粒物が優り、透水性はそれほど高くはない。堆積層の厚さは盆地南部で数10 m、北部の広大な平野部では400 m に及ぶことが物理探査の結果から判明している。水理地質学的に盆地を埋めている堆積層は、これが覆っているタウィラ砂岩帯水層、トラップ玄武岩帯水層とは連続しており、境界部での水頭の変化はみられない。

d) 第四紀玄武岩層

サナア盆地の西部から北西部にかけて、第四紀の新しい時代に噴出した玄武岩が広範に分布している。この玄武岩熔岩類には亀裂や隙間が不規則に発達しており、その透水性は変化に富んでいる。水理地質学的に他の帯水層とは連続している。盆地西部にこの帯水層中に数カ所の泉が存在する。

このようにサナア盆地に分布する帯水層は、すべて不透水層や構造的要因で分断されておらず、地下水面は連続しており、それぞれの動水勾配に沿って地下水はこれらの境界部を流動している。地下水面までの深さは、それぞれの地形によって様々であるが、盆地の平野部では北部で浅く10～数10 m 程度である。また動水勾配はサナア盆地の地形を反映して、周囲の山地から平野部に低下し、平野部では南部から北部にかけて緩く傾斜している(図-4-9)。

サナア盆地では1970年代前半までは、飲料水は第四紀堆積層中に掘削した手掘りの釣瓶井戸(深さ最大10数 m)か第四紀玄武岩類からの自然の湧泉に頼っていた。畑の灌漑も専ら釣瓶井戸からロバに引かせて揚水を行っていた。現在では地下水位の低下によって、これらの釣瓶井戸は干上がってしまったが、その形骸はサナア郊外のあちこちで見ることができる。

1972～73年にWHOの契約のもとにイタリアコンサルトが実施したサナアでの広域的な地下水調査の結果によって、それまでの情勢は一変した。この地下水調査によって、良好な帯水層であるタウィラ砂岩層が、盆地内北部の比較的浅い部分に広範に分布していることが判明した。この帯水層の開発により、少なくとも2000年までのサナア市の飲料水は十分に確保されるとの