

国際協力事業団 (JICA)

エジプト国

公共事業水資源省水資源研究所

エジプト国

シナイ半島地下水開発計画調査 (Ⅱ)

和文要約

JICA LIBRARY



J 1150367 (9)

1999年3月

株式会社 パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
三 祐 コ ン サ ル タ ン ツ 株 式 会 社

社 購 二

CR(3)

99-060



ARY

37
08

国際協力事業団 (JICA)

エジプト国

公共事業水資源省水資源研究所

エジプト国

シナイ半島地下水開発計画調査 (Ⅱ)

和文要約

1999年3月

株式会社 パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
三 祐 コ ン サ ル タ ン ツ 株 式 会 社



1150367 (9)

序 文

日本国政府は、エジプト・アラブ共和国政府の要請に基づき、同国のシナイ半島地下水開発計画（II）にかかるマスタープラン策定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いたしました。

当事業団は、平成8年3月から平成11年3月までの間、5回にわたり、株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルの山崎 安正氏を団長とし、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ました。

調査団は、エジプト政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、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りました。

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

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

平成11年3月

国際協力事業団
総 裁 藤田 公郎

伝 達 状

平成 11 年 3 月

国際協力事業団

総裁 藤田 公郎 殿

拝啓

エジプト国におけるシナイ半島地下水開発計画調査 (II) の報告書を提出いたします。本報告書は平成 7 年度から平成 10 年度にわたる調査結果をとりまとめたものであります。

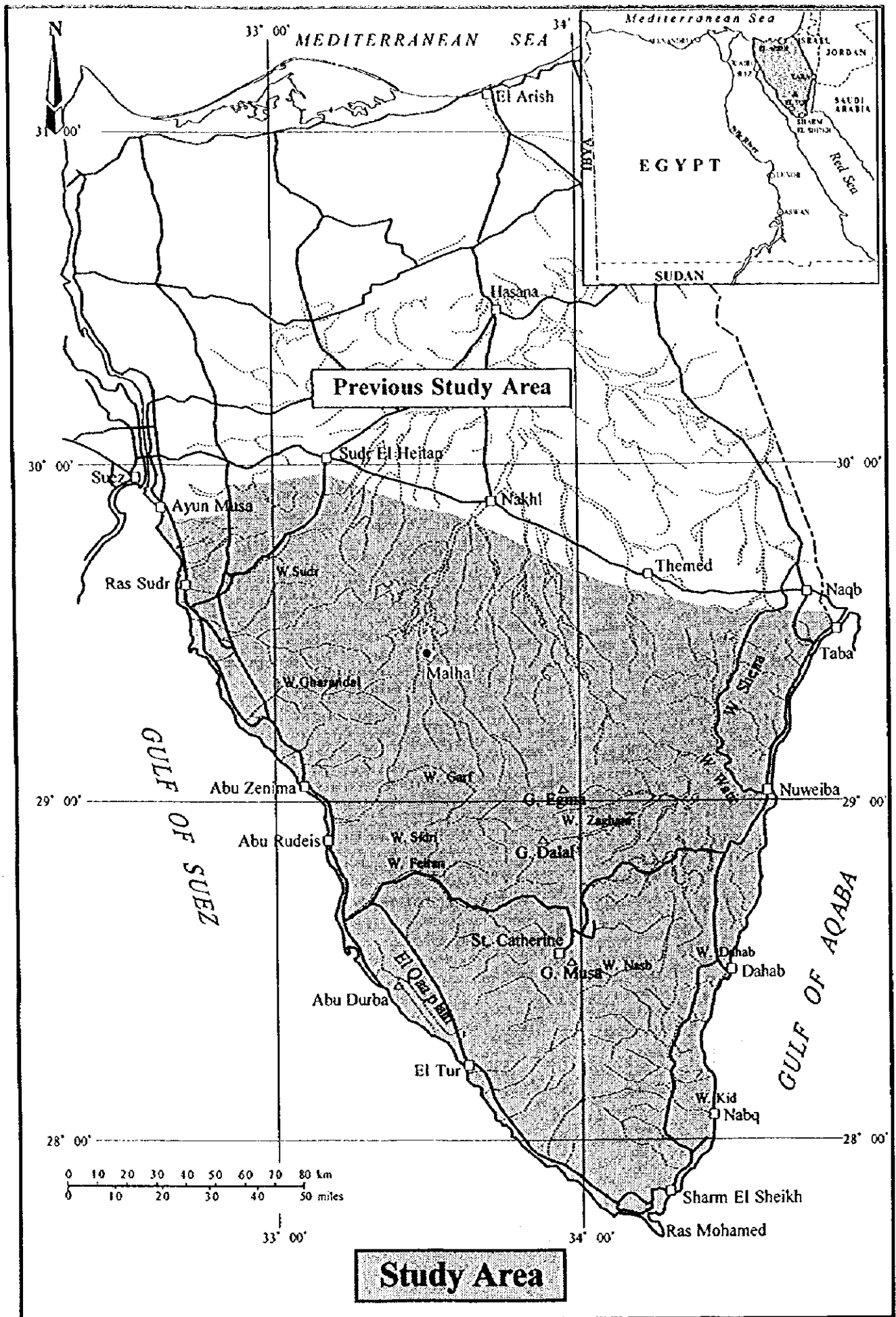
本調査では、総数 7 本で合計掘削深度 6,300m に達する試掘を含む現地調査を行い、これまで未知であったシナイ半島に分布する主要帯水層である第四紀帯水層と下部白亜紀砂岩層の詳細を明らかにし、水理地質図および地下水源評価図としてまとめました。また、評価された地下水源のポテンシャルは、エル・カー平原の第四紀帯水層で州都エル・トール市の 2007 年の水需要レベルに対して、また、下部白亜紀砂岩層は提案された開発計画に対して 280 年以上の地下水供給が可能であることが明らかとなりました。

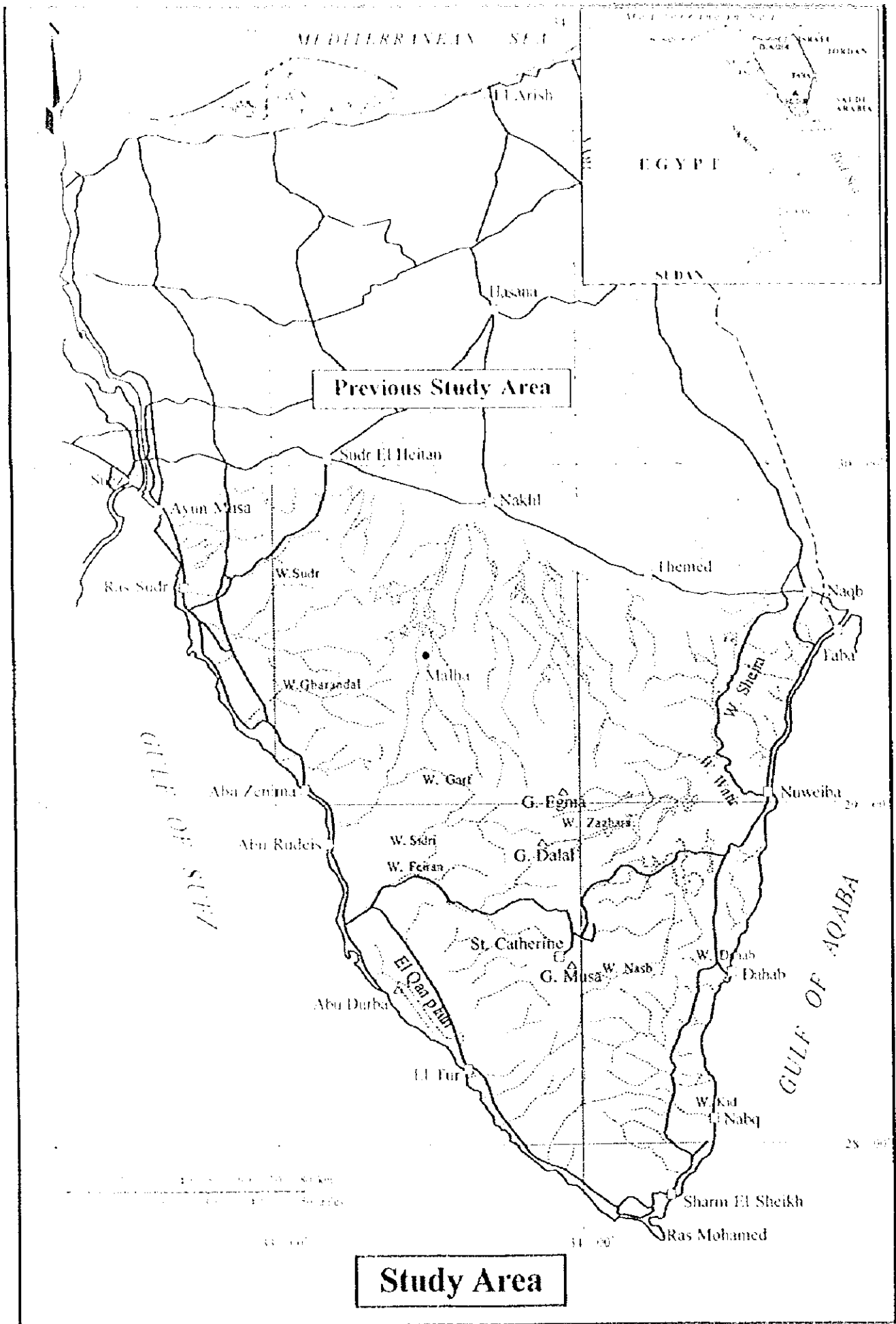
本報告書の提出にあたり、調査団に対し多大なご支援を賜った貴事業団、外務省、在エジプト日本国大使館の諸賢、ならびにエジプト国政府機関の関係各位に対し、心から感謝の意を表しますとともに、提案しました地下水開発計画が、エジプト国の国家開発計画であるシナイ半島開発計画 (NPDS) の遂行に寄与するものとなることを希望する次第です。

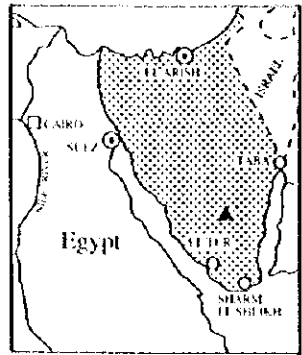
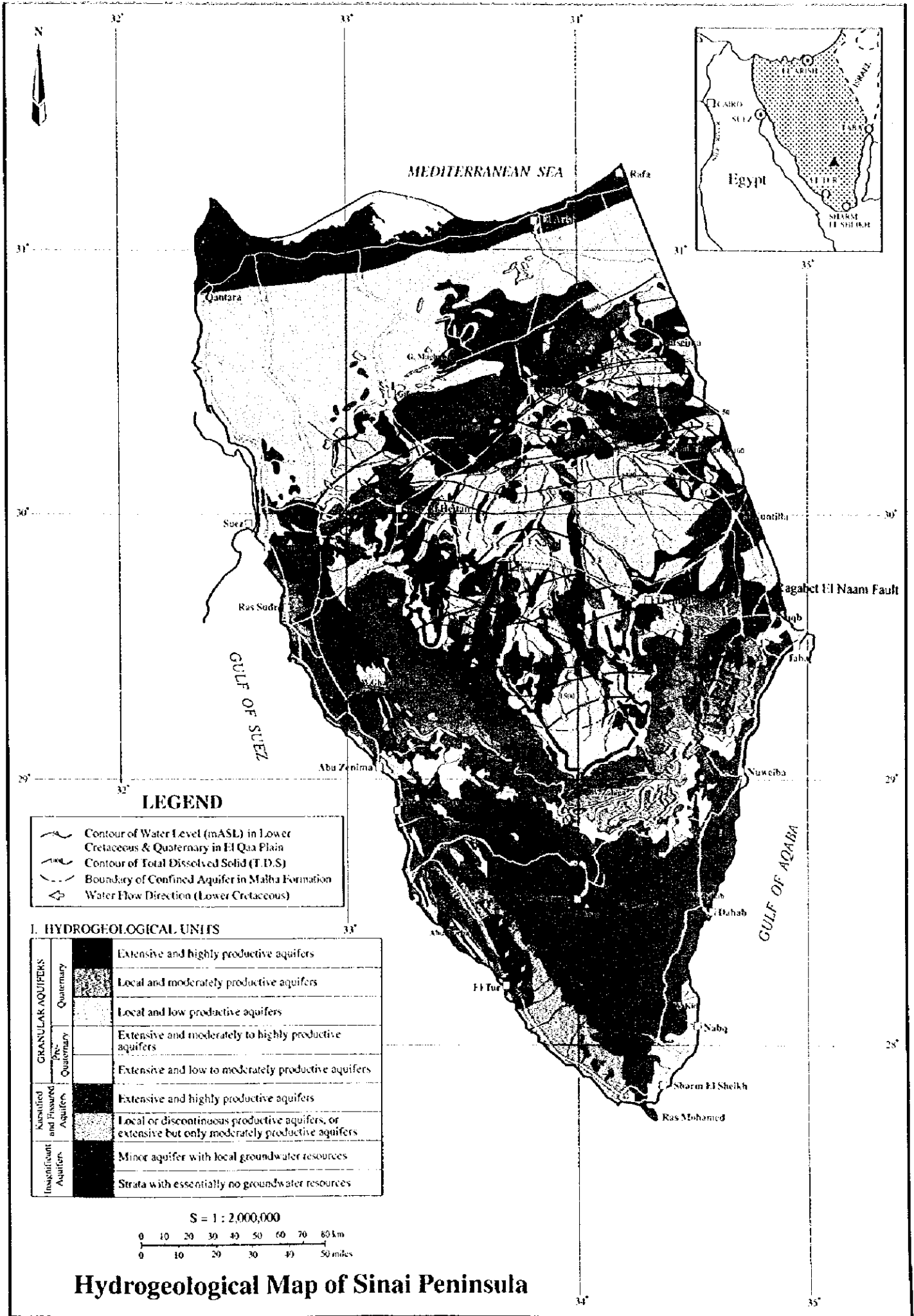
敬具

シナイ半島地下水開発計画調査 (II)

調査団長 山崎 安正







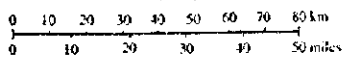
LEGEND

- Contour of Water Level (mASL) in Lower Cretaceous & Quaternary in El Qaa Plain
- Contour of Total Dissolved Solid (T.D.S)
- Boundary of Confined Aquifer in Malha Formation
- Water Flow Direction (Lower Cretaceous)

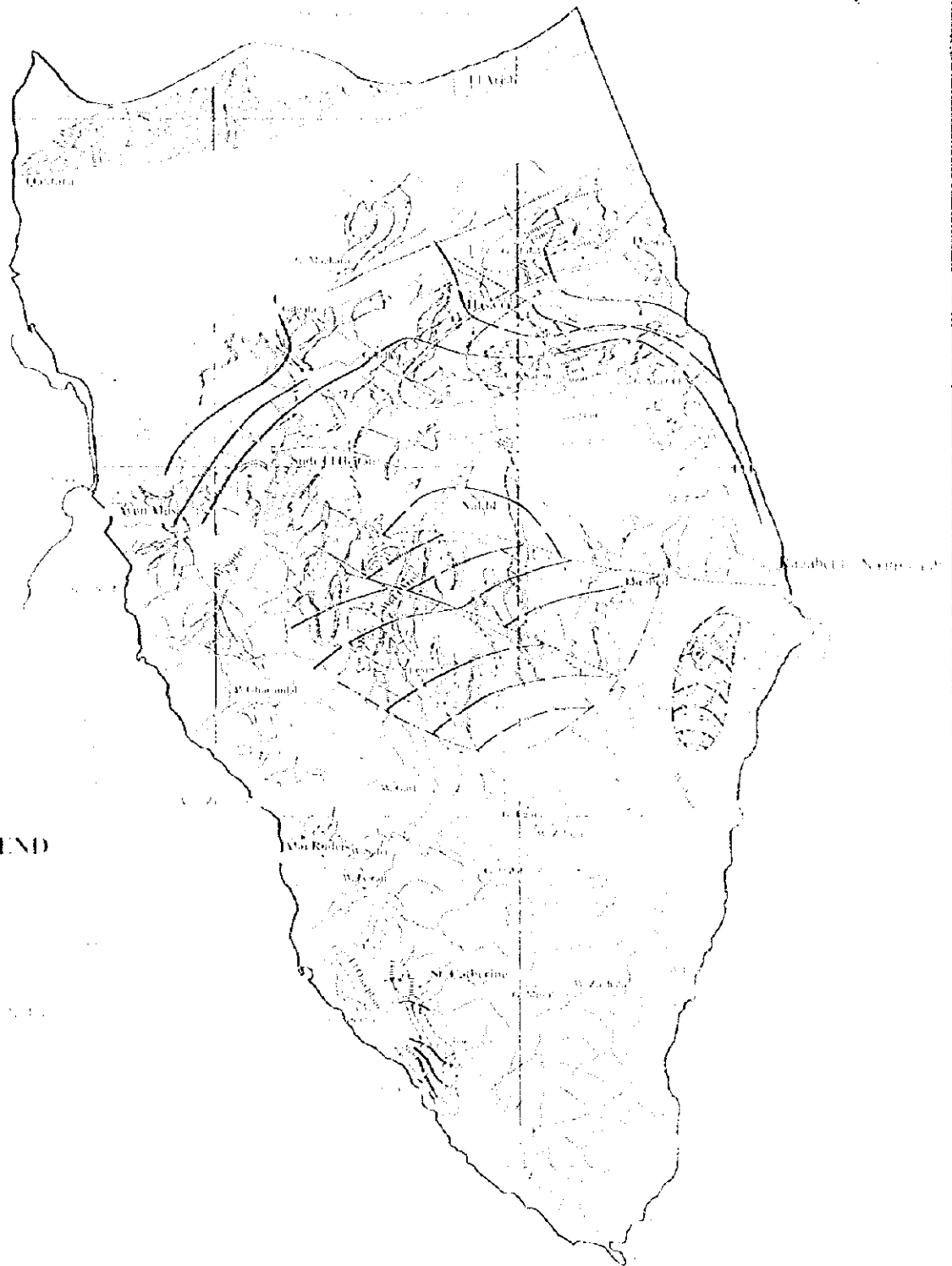
I. HYDROGEOLOGICAL UNITS

GRANULAR AQUIFERS	Quaternary		Extensive and highly productive aquifers
	Pre-Quaternary		Local and moderately productive aquifers
			Local and low productive aquifers
Kansufed and Fissured Aquifers	Pre-Quaternary		Extensive and moderately to highly productive aquifers
			Extensive and low to moderately productive aquifers
Insignificant Aquifers	Pre-Quaternary		Extensive and highly productive aquifers
			Local or discontinuous productive aquifers, or extensive but only moderately productive aquifers
Insignificant Aquifers	Pre-Quaternary		Minor aquifer with local groundwater resources
			Strata with essentially no groundwater resources

S = 1 : 2,000,000



Hydrogeological Map of Sinai Peninsula



LEGEND



Hydrogeological Map of Sinai Peninsula

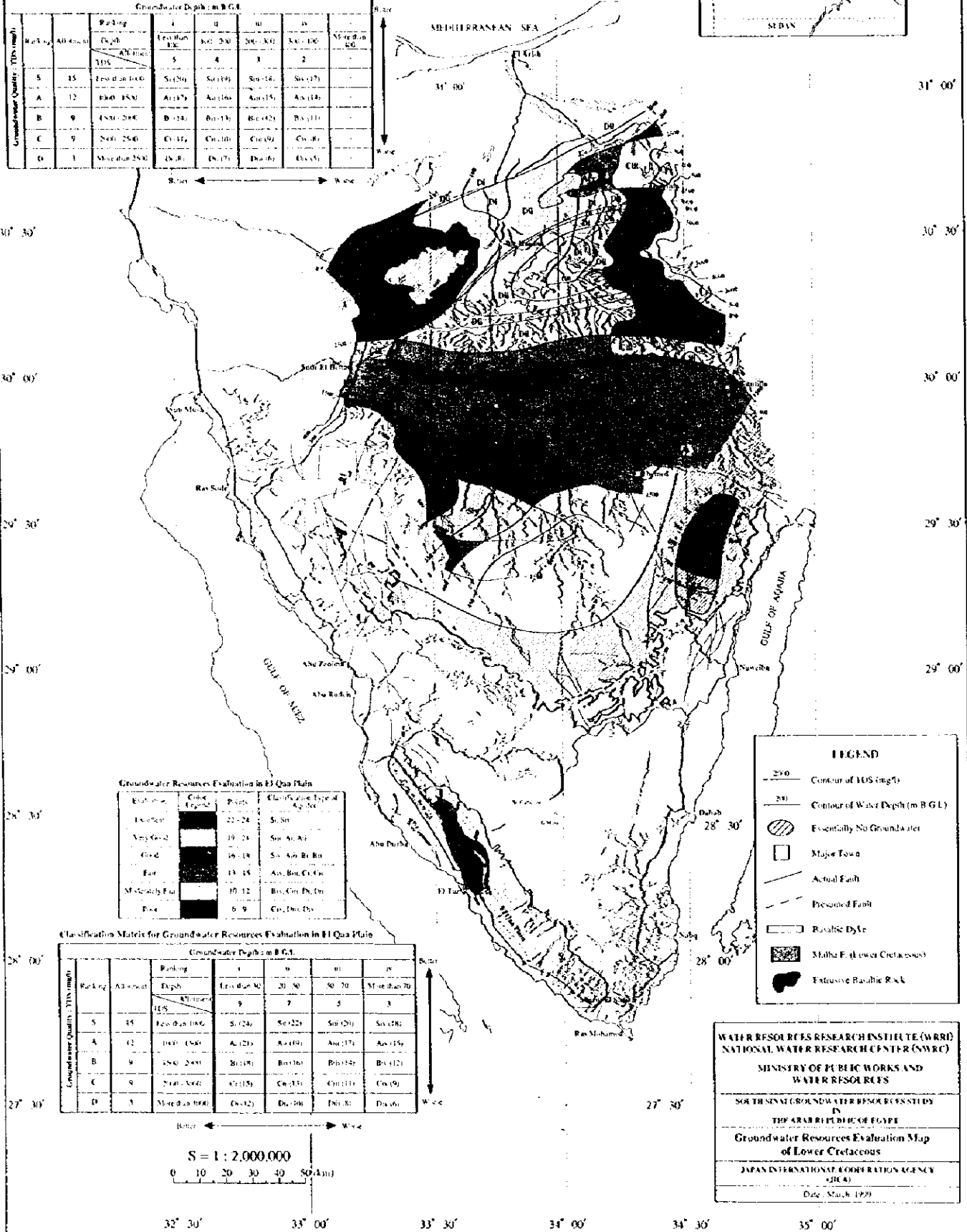
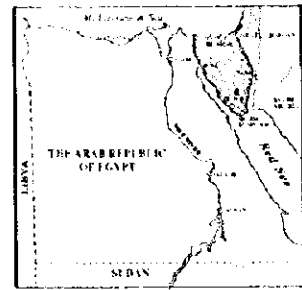
Groundwater Resources Evaluation of Lower Cretaceous Aquifer

Evaluation	Color Legend	Points	Classification Type of Aquifer
Excellent	(Dark Green)	18-20	Su, Su-Su
Very Good	(Light Green)	16-17	Su, A, Au
Good	(Yellow-Green)	13-15	Au, Au, Bu, Bu
Fair	(Yellow)	10-12	Bu, Bu, Cu, Cu
Moderately Fair	(Orange)	7-9	Cu, Cu, Du, Du
Poor	(Red)	5-6	Du, Du

Classification Matrix for Groundwater Resources Evaluation of Lower Cretaceous Aquifer

Groundwater Depth in B.G.L.

Ranking	All cases	Ranking	Classification Type of Aquifer				More than 500
			i	ii	iii	iv	
S	15	Less than 100	Su(20)	Su(19)	Su(18)	Su(17)	
			MDS				
A	12	100-150	Au(15)	Au(16)	Au(15)	Au(14)	
			UNU-200				
B	9	150-200	Bu(13)	Bu(13)	Bu(12)	Bu(11)	
			200-250				
C	6	200-250	Cu(12)	Cu(10)	Cu(9)	Cu(8)	
			More than 250				
D	3	More than 250	Du(8)	Du(7)	Du(6)	Du(5)	



Groundwater Resources Evaluation in El Qaa Plain

Evaluation	Color Legend	Points	Classification Type of Aquifer
Excellent	(Dark Green)	21-24	Su, Su
Very Good	(Light Green)	19-20	Su, Au, Au
Good	(Yellow-Green)	16-18	Su, Au, Bu, Bu
Fair	(Yellow)	13-15	Au, Bu, Cu, Cu
Moderately Fair	(Orange)	10-12	Bu, Cu, Du, Du
Poor	(Red)	6-9	Cu, Du, Du

Classification Matrix for Groundwater Resources Evaluation in El Qaa Plain

Groundwater Depth in B.G.L.

Ranking	All cases	Ranking	Classification Type of Aquifer				More than 70
			i	ii	iii	iv	
S	15	Less than 100	Su(24)	Su(22)	Su(21)	Su(20)	
			MDS				
A	12	100-150	Au(19)	Au(19)	Au(17)	Au(15)	
			150-200				
B	9	150-200	Bu(16)	Bu(16)	Bu(15)	Bu(12)	
			200-250				
C	6	200-250	Cu(15)	Cu(13)	Cu(11)	Cu(9)	
			More than 100				
D	3	More than 100	Du(12)	Du(10)	Du(8)	Du(6)	

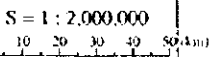
LEGEND

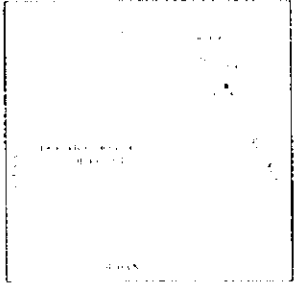
- 250 Contour of 10S (mg/l)
- 20 Contour of Water Depth (m B.G.L)
- Essentially No Groundwater
- Major Town
- Actual Fault
- Presumed Fault
- Basaltic Dyke
- Maha F. (Lower Cretaceous)
- Extensive Basaltic Rock

WATER RESOURCES RESEARCH INSTITUTE (WRRI)
 NATIONAL WATER RESEARCH CENTER (NWRC)
 MINISTRY OF PUBLIC WORKS AND WATER RESOURCES

SOUTH SINAÏ GROUNDWATER RESOURCE STUDY
 IN
 THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT
 Groundwater Resources Evaluation Map
 of Lower Cretaceous

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)
 Date: March 1999





LEGEND



WATER RESOURCES RESEARCH INSTITUTE, UPD
NATIONAL WATER RESEARCH CENTER, NWRIC
MINISTRY OF PUBLIC WORKS AND
WATER RESOURCES
CAGAYAN RIVER WATERSHED STUDY
PHILIPPINE ISLANDS
Geographic Research Institute Map
OFFICE OF TOPOGRAPHY
MANILA, PHILIPPINES



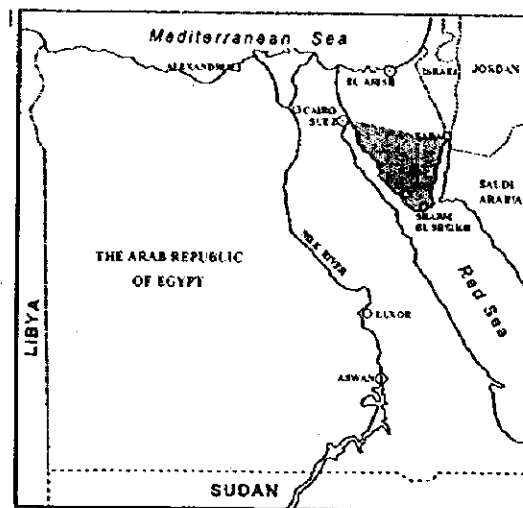
概 要

調査の背景

エジプト国は国土のほとんどが砂漠で覆われており、耕作地はナイル川周辺及びそのデルタ地帯の沖積平野に限られており全国土の僅か4%である。エジプト国政府は、急速な都市化と人口増加、さらに、ナイル川の水利権の国際的な規制下での水需要の増加に対処するため、「シナイ国家開発計画(NPDS 1994 - 2017)」を策定しシナイ半島の開発を進めることとなった。

シナイ半島の開発に係わる水資源は、1) ナイル川よりの導水、2) 地下水開発、3) 海水の淡水化、の3案が挙げられる。中でも「地下水開発」は、開発に必要不可欠である地下水賦存量評価が未知であった。

北シナイ州の地下水資源賦存量については、国際協力事業団で実施した「北シナイ地下水開発調査(1988年～1992年)」において推定された。しかしながら、南シナイ州の地下水資源賦存量については、その情報も限られており、未だ評価されていなかった。



調査地域位置図

かかる状況下で、エジプト政府は南シナイ州の地下水開発調査について、日本政府に要請してきたものである。

調査対象地域

調査対象地域は、南シナイ州全域の約 34,000 km²の地域である(調査地域位置図参照)。

調査の目的

本調査の主目的は、以下に要約される。

- (1) 南シナイ州の地下水賦存量を評価するため、各種水資源図を作成すること。
- (2) 南シナイ州の地下水開発計画を作成すること。
- (3) 本調査を通じて、エジプト国側カウンターパートに技術移転を行うこと。
- (4) エジプト国水資源研究所(WRRI)のデータを用い、北シナイ州の水理地質図を更新すること。

結 論

(1) 詳細な現地調査結果に基づき、南北シナイ半島全域を対象とした水理地質図及び地下水資源評価図を水資源図としてまとめた。(口絵、印刷図面集参照) 現地調査には次の項目が含まれる。

- a) 南シナイ地質図の修正
- b) 調査地域内を網羅する既存水源の台帳作成
- c) Egma および El Tih Plateau、El Qaa Plain、その他の主要ワジにおける物理探査を実施し、シナイ半島中央部における下部白亜紀砂岩層の基底を描き出した。
- d) 合計深度 6,351 m におよび試掘井戸をこれまで調査が行われていなかったシナイ半島中央部の Egma および El Tih Plateau に集中して掘削した。試掘調査には地質層序の確認、揚水試験、水質分析、地下水の年代測定、粒度分析、化石分析を含んでいる。

上述した水理地質図および地下水資源評価図の作成は本調査の主要で最も重要な成果である。すなわち、これら両図面によってこの地域における将来の地下水開発をより確かなものとし、さらにこの分野に対しての効果的な資本投資を可能にするからである。

- (2) 調査によって下部白亜紀帯水層のメインブロックには約 1,000 億 m^3 (TDS 値はエジプトの飲料水基準の 1,500 mg/l 以下) の地下水が胚胎されることが明らかとなった。しかしながら、水理地質学的現地調査および同位元素分析結果から、この地下水は再生しないいわゆる“化石水”であると結論づけられる。この地下水量の約 14% が汲み上げ可能と考えられることから、この揚水可能量は NPDS の計画年度における水需要量のレベルである 5 千万 m^3 /年の水量を 280 年以上にわたって供給が可能な量である。
- (3) El Qaa Plain の帯水層は南シナイ州の州都たる El Tur にとって主要な水源であることから、コンピューターシミュレーションを含む詳細な検討を行った。その結果、同帯水層は涵養量を考慮すると El Tur の 2007 年における水需要レベルについては地下水の深刻な塩水化を伴うことなく供給が可能であることが判明した。この水需要レベルを超える需要分については、例えばナイル川や海水淡水化のような他の水源に依存すべきである。
- (4) NPDS に基づく水需要に基づきプラン 1 から 5 の地下水開発計画を策定した。これらの計画について予察的な評価を行った。提案したプロジェクトによる EIRR および FIRR は低いものの、定性的便益は極めて大きいと評価できる。提案したプロジェクトは水源の確保という NPDS を実行に移す基礎条件を満たすことになり、事業を実施する価値があるものとする。

- (5) 環境初期評価により、提案した各プロジェクトは周辺環境に対して深刻な影響を及ぼすことはないと評価されたため、環境影響評価の実施は不要である。
- (6) El Qaa Plain の南部地域に帯水層が分布することが新たに確認できた。

勸 告

- (1) El Qaa Plain の南部で新しい地下水帯水層が確認されたが、その分布状況、水理地質学的特徴を詳細に調査する必要がある。
- (2) NPDS に関する給水の効果についての評価を含む詳細な事業化調査を速やかに実施すべきである。この事業化調査には、地下水の過剰揚水を防ぐため、地下水のモニタリング体制の確立を含まなければならない。また、調査には下水排水に関する事項を含むべきである。
- (3) 良好な水質の地下水がシナイ半島中央部においても利用できることは、同地域のベドウィンの人々の定住化を促進するに違いない。それはまた、これらの人々の生活水準を改善させるという極めて良好な効果をもたらすことを意味する。これらベドウィンの人々に対しては、更に包括的な開発計画を提起すべきである。
- (4) 南北両シナイにおいては地下水生産井の数が増え続けている。これらの井戸は下部白亜紀帯水層から揚水している。下部白亜紀帯水層の地下水は表流水からの幾分か涵養は期待できるものの、本質的には化石水である。下部白亜紀帯水層の地下水を開発すれば地下水位の低下は免れられない。したがって、シナイ半島における下部白亜紀帯水層の開発は適切な管理体制の下で行われなければならない。特に、開発に際しては地下水位の変動に細心の注意を払うべきである。これらの観点から、本調査において設置した自記水位計による水位のモニタリングは適切に継続するべきである。

要約

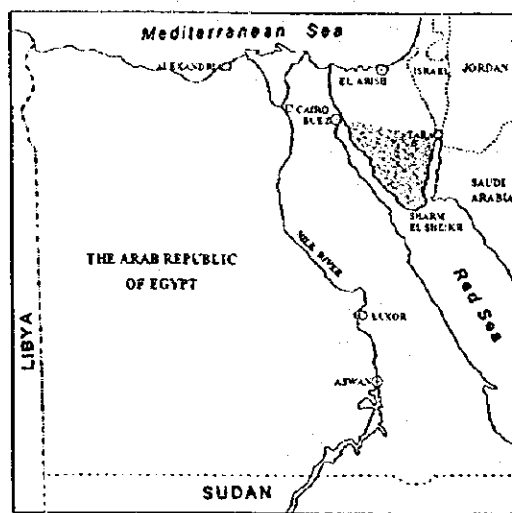
1. 序論

1-1 調査の背景

エジプト国は国土のほとんどが砂漠で覆われており、耕作地はナイル川周辺及びそのデルタ地帯の沖積平野に限られており全国土の僅か4%である。エジプト国政府は、急速な都市化と人口増加、さらに、ナイル川の水利権の国際的な規制下での水需要の増加に対処するため、「シナイ国家開発計画 (NPDS 1994 - 2017)」を策定しシナイ半島の開発を進めることとなった。

シナイ半島の開発に係わる水資源は、1) ナイル川よりの導水、2) 地下水開発、3) 海水の淡水化、の3案が挙げられる。その中でも「地下水開発」は、開発に必要な不可欠である地下水賦存量評価が未知であった。

北シナイ州の地下水資源賦存量については、国際協力事業団で実施した「北シナイ地下水開発調査 (1988年～1992年)」において推定された。しかしながら、南シナイ州の地下水資源賦存量については、その情報も限られており、未だ評価されていなかった。



調査地域位置図

かかる状況下で、エジプト政府は南シナイ州の地下水開発調査について、日本政府に要請してきたものである。

1-2 調査対象地域

調査対象地域は、南シナイ州全域の約 34,000 km² の地域である (調査地域位置図参照)。

1-3 調査の目的

本調査の主目的は、以下に要約される。

- (1) 南シナイ州の地下水賦存量を評価するため、各種水資源図を作成すること。
- (2) 南シナイ州の地下水開発計画を作成すること。
- (3) 本調査を通じて、エジプト国側カウンターパートに技術移転を行うこと。
- (4) エジプト国水資源研究所 (WRI) のデータを用い、北シナイ州の水理地質図を更新すること。

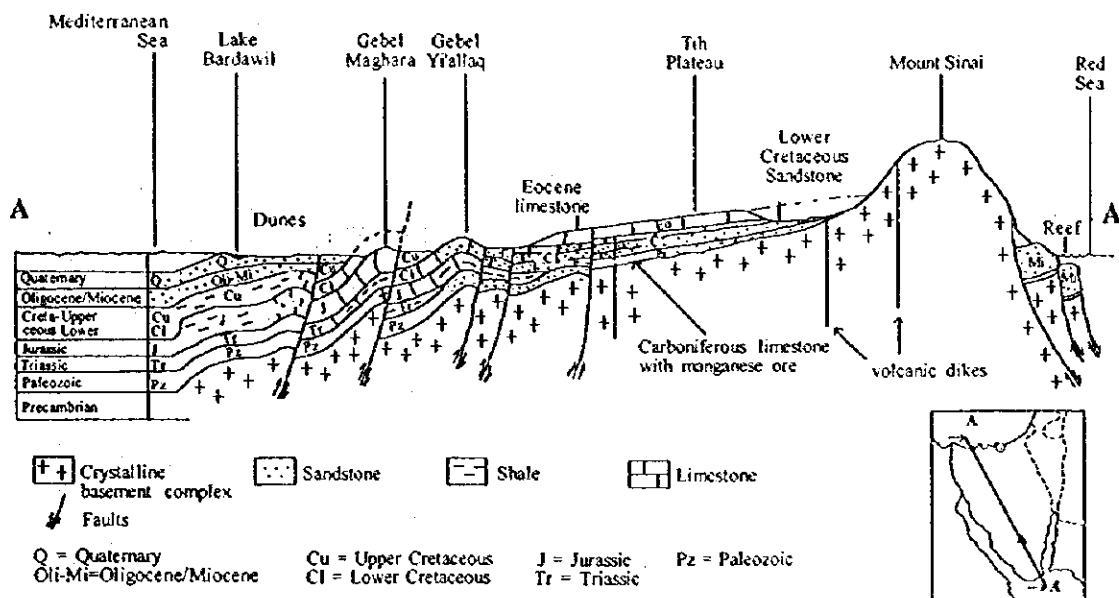
2. 南シナイの概要

2-1 地形

南シナイの地形は、(1) Sinai Plateau、(2) El Tih Plateau、(3) Egma Plateau、(4) 堆積丘陵地、(5) 基盤丘陵地、(6) 平地、(7) 沖積扇状地 (El Qaa Plain を含む)、(8) 台地、の8つに分類できる。地域での最高標高は、Catherine 山で海拔 2,641m に達する。

2-2 地質

南シナイの地質は下位から、(1)先カンブリア紀基盤岩、(2)古生代堆積岩類、(3)中生代堆積岩類、(4) 第四紀堆積層、の4つに分類できる。中生層は、下部白亜紀層と上部白亜紀層を含む。シナイ半島全域の地質概要を、以下の地質断面図(北-南)に示す。



<シナイ半島 地質断面図>

(Rosel und Wolfgang Jahn (1997): Sinai and the red Sea)

2-3 気象・水文

(1) 気象

シナイ半島の気象は、砂漠気候に属する。調査地域の主要部の NakhI, St.Catherine, Sharm El Sheikh, Nuweiba での気象要因の概要は、下記の表に示す。表から示唆されるように、地域は極めて乾燥した降雨のない長期の高温な夏と温暖な冬で特徴づけられる。冬季にはシナイ半島の一部では、ワジに洪水をもたらす短期間だが集中的な降雨が発生し、道路や地域住民の生活に被害を及ぼすことがある。

(2) 水文

1) 水文環境

シナイ半島には、恒常的な河川流出はない。降雨による間欠的な流出が雨期のみにある。したがって地域の水文は、降雨量と期間によって直接的に支配される。

＜南シナイの気象概要＞

	Temperature (°C)		Humidity (%)		Evaporation (mm/day)		Wind Speed (m/sec)		Sunshine (hr/day)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Nakhl	9.6	30.9	37	71	-	-	2.9	4.4	-	-
	Jan.	Aug.	Jun.	Feb.	-	-	Jul.	Dec.	-	-
St. Catherine	9.5	24.9	26	45	5.9	17.7	3.6	5.4	-	-
	Jan.	Jun.	Apr.	Feb.	Dec.	Jul.	Dec.	Feb.	-	-
Sharm El Sheikh	-	-	-	-	11.6	25.8	-	-	-	-
	-	-	-	-	Jan.	Jul.	-	-	-	-
Nuweiba	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	12.4
	-	-	-	-	-	-	-	-	Jan.	Jun.Jul.

2) 降雨

1937年のSt. Catherine地域での日最大および年間降雨量は、それぞれ76.2mm、123.2mmであった。近年の日最大降雨量は10~35mm、年平均降雨量は7~33mmである。5mm以上の降雨を示す年間降雨日は極めて少なく、1~3日程度である。地域の降雨は短期間で集中型に特徴づけられる。

3) 流域

調査対象地域は40の流域に区分される（東側16流域、西側24流域）。その総面積は20,971 km²である。また地域には、8,191 km²のEl Arish流域がある。

4) 主要ワジ

地域には40の流域があるものの、洪水を発生させるようなワジは僅かである。それらはW. Watir, W. Feiran, W. Sudr, W. Gharandal, W. Dahab, W. Kidである。洪水時には、道路、時には地域住民の生活に被害を及ぼす。

5) 流水の流出

主要ワジでは、2年に1度程度の洪水がある。流出量の算出については既往調査の結果を用いた。年間平均流出量は、東側および西側で52.92x10⁶m³/年、ワジEl Arishで9.5x10⁶m³/年、したがって地域全体では62.42x10⁶m³/年と算定された。この量は年間降雨量の14%に相当する。

6) 涵養量の検討

涵養量は、全降雨量から推定蒸発散量と表流水の流出量の減算で算出した。最大の涵養率はEl Arish流域での67%である。東側および西側はそれに次ぎ、それぞれ57%と31%である。調査地域全体での年平均涵養量、蒸発散量、流出量はそれぞれ、253x10⁶m³/year, 146x10⁶m³/year, 62x10⁶m³/yearと算出された。

2.4 社会経済の状況と展望

社会経済の状況と展望の概要を以下に示す。社会経済の将来展望については、「第五次五カ年計画(1997/98-2001/02)」に基づく。

<社会経済状況>

<i>Population</i>	<i>Area</i>	<i>Population</i>	<i>Average Growth Rate</i>
1996 Census	Egypt	59,9,272,392	2.1% (86-96)
	South Sinai	54,495	6.5% (86-96)
2017 (NPDS)	South Sinai	676,600	13.1% (1994-2017)
<i>National Economy</i>	<i>Item</i>	<i>Amount</i>	<i>Real Growth Rate</i>
1996 (Actual)	GDP	LE225 Billion	4.9% (1994/95-1995/96)
	GDP per Capita	LE3,840 (US\$1,130)	2.8% (1994/95-1995/96)
2002 (Prospect)	GDP	LE335 Billion (1998 constant)	6.9% (1997/98-2001/02)
	GDP per Capita	LE5,000 (US\$1,470)	4.8% (1997/98-2001/02)
<i>Inflation</i>	Consumer Price	2.1% (Annual)	Nov. 1996 – Nov. 1997
	Wholesale Price	3.3% (Annual)	Sept. 1996 – Sept. 1997
<i>Foreign Trade</i>	Export	LE12 Billion	Oil, Cotton, Fruits, Garment, etc.
1996	Import	LE44 Billion	Foods, Machines, Chemicals, etc.
	Balance	LE -32 Billion	
<i>Major Items of Foreign Currency Earning</i>	Oil & Its Products	LE5 Billion	37% of Export
1996	Suez Canal Dues	LE6 Billion	20% of Service Export
	Tourism	LE10 Billion	32% of Service Export
	Private Transfer	LE9 Billion	75% of Transfer
	ODA (Grant)	LE3 Billion	25% of Transfer
<i>Public Finance</i>	Revenue	LE61 Billion	Tax Revenue: 38 Billion (63%)
1995/96	Expenditure	LE64 Billion	28% of GDP
	Balance	LE -3 Billion	1.3% of GDP
<i>Household Economy</i>	<i>Area</i>	<i>Annual Expenditure</i>	<i>Housing & Utility Expenditure</i>
1995/96 Survey	Egypt	LE6,660	LE660
	Sinai	LE5,850	LE850

2.5 環境

南シナイは砂漠性気候で、植生は乏しい。植物はワジ、小溪谷沿いで降雨の後一時的に成長する。南シナイでは、シダ植物、裸子植物、被子植物を含む480種の植物が存在する。そのうち389種が貴重種である。他の動植物については以下に要約する。

- 哺乳類：南シナイでは、絶滅の危機に瀕したカラカル、ロバード、アイベック、ドルカス・ガゼルを含む34種の哺乳動物が記録されている。
- 鳥類：264種の鳥類があり、そのうち約50種は南シナイで繁殖している。
- 爬虫類：全部で45種の爬虫動物が南シナイで記録されている。そのうち14種はシナイでの分布に限られている。

- 魚類：180種の魚類がアカバ湾で記録されている。そのうち95%はRas Mohamed地域で見られる。
- 珊瑚：56種の珊瑚がRas Mohamed、Nabq、Abu Galmの3地域にて観察される。
- マングローブ：南シナイにある5つのマングローブの植生地は、1つはRas Mohamed保護区、他はNabq保護区である。

エジプト国内16保護区のうち、以下の5つは南シナイに位置する。(図S-5参照)

- Ras Mohamed 国立公園
- St. Catherine 自然保護区
- Nabq 自然保護管理
- Abu Galm 自然保護区
- Taba 自然保護区

3. 水理地質

調査地域での主要帯水層は上位から、第四紀層、上部白亜紀層、下部白亜紀層である。先カンブリア紀の基盤岩が、他の帯水層への地下水暗渠の役目を成している。上記帯水層のうち、最も期待される帯水層は、Egma及びEl Tih Plateauに分布する下部白亜紀層である。

本調査を通じて、南・北シナイの水理地質図、地下水評価図が作成された。200万分の1スケールの両図面を口絵に示した。

3-1 井戸台帳

南シナイ全域に亘る16地域のほとんどの水源(深井戸、掘り抜き井戸、湧水を含む)に関して、台帳および位置図を構築した。井戸台帳には452の水源(深井戸157本、掘り抜き井戸256本、湧水41箇所)が収録されている。

3-2 第四紀帯水層

南シナイでの第四紀帯水層はEl Qaa Plainおよび海岸部、主要ワジに分布している。

(1) El Qaa Plain

地域では3層の帯水層が認められた。上位から第1帯水層は不圧で、第2帯水層は、不圧もしくは半被圧と考えられる。第3帯水層は漏水性被圧帯水層である。第1帯水層はEl Tur付近にのみ分布し、掘り抜き井戸により灌漑に利用されている。地下水位等高線によると、この第1帯水層は第2帯水層の一部である可能性を示唆している。

El Qaa Plainにおけるほとんどの井戸は、第2帯水層に掘られている。第2帯水層の地下水はEl TurおよびEl Qaa Plain北部の灌漑用水、生活用水として利用されている。

第3帯水層には、数本の観測井と生産井が掘られている。

TDSは、El Qaa Plain 全域ではほぼ450mg/l から10,000 mg/l までの範囲にあるが、現在El Tur に給水している井戸群のある地域では500 mg/l 以下である。

El Qaa Plain 南部では、基盤は浅部に分布すると推測される。この地域では、試験井 (J-7) によって、Wadi Thiman の下流で上記以外の帯水層の存在の可能性が確認された。

第2帯水層の基底等高線および等層厚線図によると、地域には2つの地下水盆が存在する。一つはSafariat 山西北部、もう一つはEl Tur に位置するW. Mir と W. Shadk の下流部である。水質分析結果は、平原北部においては北部山岳の堆積岩から、平原南部においては先カンブリアン紀基盤岩からの涵養を示唆している。これらの水理地質データは以下の表に示す。

< El Qaa Plain の第四紀帯水層の水理地質学的データ >

	Yield (m ³ /h)	Specific Capacity (liters/sec/m)	Transmissivity (m ² /day)	Hydraulic Conductivity (m/day)
Northern part of the Second aquifer	56.7	2.64	768	23.9
Southern part of the Second aquifer	67.2	4.36	989	25.5
The third aquifer	34.6	0.54	85	2.0

(2) 海岸平野

海岸平野は Ras Sudr と Nuweiba にて形成されている。これらの地域では地下水は生活用、灌漑用に利用されている。

1) Ras Sudr 海岸平野

地下水は、35本の掘り抜き井戸より取水されている。これらの井戸群はW. Sudr 河口部周辺に分布している。井戸群は、南北の楕円形状に分布している。地域の自然水位はおおよそ4mASLで、TDSは2,450~7,624mg/lの範囲である。全てのTDSは飲料水基準を越えている。自然水位と水質の等値線は、W. Sudr 河口部から海岸平野部への地下水流の存在を示している。

2) Nuweiba 海岸平野

Nuweiba 海岸平野は、W. Watir と他の小規模ワジの河口部に形成されている。平野は、各ワジから供給された3つの扇状地堆積物により構成されている。この平野にはNuweiba および農場が位置する。地下水は30本の井戸(25本の掘り抜き井戸、5本の深井戸)により取水されている。深井戸は扇頂部、掘り抜き井戸は扇端部に掘られている。

自然水位、水質、取水量は以下に示すように、地域により4つのグループに分類される。すべての井戸でTDSが飲料水基準を越えている。当平野における全揚水量は約3,200 m³/日である。

< Nuweiba 海岸平野の井戸 >

Well Group	SWL (mBGL)	TDS (mg/l)	Extraction (m ³ /day/well)
Cased Well (Fantop of Fan I)	28.5 - 40.15	1,783 - 9,470	2,500*
Dug Well (Northern Fanfoot of Fan I)	6.68 - 14.4	1,639 - 3,961	20 - 80
Dug Well (Southern Fanfoot of Fan I)	7.4 - 11.95	2,741 - 8,823	10 - 80
Dug Well (Fanfoot of Fan IIIa)	2.5 - 10.24	2,788 - 11,790	1 - 20

*: 総揚水量

3.3 上部白亜紀帯水層

Turonian (Wata Formation)の石灰岩は「亀裂性石灰岩」と呼ばれ、上部白亜紀層での主要帯水層と考えられる。一方、Malha 地域では、Senonian (Sudr Formation)の石灰岩を帯水層とした多くの掘り抜き井戸から揚水されている。

(1) 帯水層の状況

対象地域内で試験井を図 S-1 に示す6カ所で掘削した。上部白亜紀の水理地質特性を検討するため、エアリフト揚水による帯水層試験を行った。帯水層試験の結果を以下の表に示す。

< 上部白亜紀の水理地質特性 >

Well	Tested Section (mBGL)	Aquifer	SWL (mBGL)	SWL (mASL)	Q _{max} (m ³ /hour)	TDS (mg/l)
J-1	402-500	Turonian	71.08	449	5.5	2,790
J-2	620-650	Turonian	dry	-	-	-
J-3	382-420	Turonian	-3.8*	548	40.0	2,170
J-4	380-450	Coniacian -Turonian	dry	-	-	-
J-5	-	Cenomanian -Albian	dry	-	-	-
J-6	220-260	Turonian	115.08	595	11.0	2,670

*: Automatically flown out.

(2) 地下水位

上部白亜紀層は、被圧、不圧の2種類の帯水層に分けられる。被圧帯水層は、Turonian の帯水層に代表され、不圧帯水層は Malha 地域に露頭している Senonian 帯水層である。上部白亜紀層の地下水位を以下の表に示す。

< 上部白亜紀帯水層の地下水水頭 >

Well	Elevation (mASL)	SWL (mBGL)	SWL (mASL)
J-1	520	71.08	449
J-3	544	-3.80	548
J-6	710	15.08	595
El Malha 2	640	14.50	625
Gharandal 2	290	120.70	169
Dug wells in Malha	620-630	3.2 - 11.4	609-627

J-3 試験井の帯水層試験時に、地下水の自噴が観測された。この現象は全シナイ半島地域で最

初に確認されたものである。

(3) 水質

TDS 値は 1,572 mg/l～12,930 mg/l の範囲である。これらの値は飲料水基準値を上回っている。

(4) 帯水層の水理地質特性

Egma Plateau および El Tih Plateau において、水理地質学的見地から、注目すべき地質構造が認められる。これらの構造は、断層及び貫入岩である。上部白亜紀帯水層による 26 本の井戸が確認されたが、Malha 地域の掘り抜き井戸を除き、これらの井戸は全て断層の付近に位置している。このことから、上部白亜紀帯水層の地下水は、断層によって生じた裂ヶ帯に貯留されていると判断される。

Malha 地域の地下水位は乾期に降下するが、降雨の後は回復する。このことから地域の地下水は、チョーク質石灰岩に発達した裂ヶ帯を通して現在の降雨によって涵養を受けていることを示している。

3-4 下部白亜紀帯水層

下部白亜紀帯水層は、独立した 3 ブロックと 1 サブブロックに区分される。(図 S-2 参照)

- メインブロック：本調査地域の中央部に分布する主要分布域。(Egma Plateau と El Tih Plateau)
- Sheira ブロック：水理地質学的に他のブロックとは独立したもので主に Wadi Sheira に分布する。
- Feiran ブロック：水理地質学的に他のブロックとは独立したもので主 W. Feiran に分布する。
- Gharandal サブブロック：メインブロックとつながってはいるものの、玄武岩質貫入岩によって地下水の流れを阻害されているという水理地質学的特徴を持っている。W. Gharandal の上流域に分布する。

Sheira Block はこれまでメインブロックの一部と考えられてきたものの、本調査によって NNE-SSW 方向の基盤岩の隆起によってメインブロックから分離されたものと考えられる。

(1) メインブロックの帯水層ゾーン

メインブロックの帯水層は、地下水の状況から次の 3 ゾーンに区分される。(図 S-2 参照)

- ドライゾーン：メインブロックの南端崖から北方に 16km から 24km の幅で地下水は賦存しない。
- 不圧地下水ゾーン：ドライゾーンに次いで 6km から 12km の幅で地下水が賦存するが、被圧していない。
- 被圧地下水ゾーン：不圧ゾーンの北側に分布し、メインブロックの大半を占めている。

(2) 地下水流

メインブロックの地下水は Ragabet El-Naam 断層を越えて北シナイ に向けて 0.5～2.5 cm/day の緩やかな速度で流れている。地下水頭の勾配は約 0.4/1000 である。この勾配は J-3 と J-1 の間で大きくなっている。これは、2 試験井の間に E-W 方向貫入した玄武岩体の影響により地下水の

流れが阻害されていることによるものと考えられる。

Sheira ブロックの地下水は南方へ緩やかに流れている。その水頭勾配は約 1.5/1,000 で、この地下水は南方に分布する先カンブリア紀の岩石内の裂隙に浸透しているものと考えられる。

(3) 地下水位モニターリング

本調査期間における地下水位モニターリングの結果によると、J-3 の観測井において年間約 20cm の地下水頭の低下が観測された。このモニターリングを継続し、他の 4 カ所の結果とも併せて解析することが非常に重要である。

(4) 涵養の状況

下部白亜系は W. Zalaga や W. Garf といった涵養域と考えられる wadi 堆積物分布域より標高の高い所に分布している。そこで、下部白亜紀帯水層のメインブロックは表流水からの涵養をほとんど受けていないと考えられる。

メインブロックと Sheira ブロックの地下水は、水理地質学的に他のブロックとは独立しており、現在ほとんど表流水の涵養を受けていない。したがって、この地域における地下水開発は必然的に地下水頭低下をもたらす。

地下水涵養の状況は、同位体分析によっても調査された。下部白亜紀帯水層の地下水の年代は $14,000 \pm 2,000$ Y.B.P ~ $27,000 \pm 2,000$ Y.B.P である。調査地域では、南から北へ古くなっており、北シナイでは 30,000 Y.B.P 以上が記録されている。これは、下部白亜紀帯水層の地下水流動を示すものといえる。さらに、この地下水年代は涵養が現在ではなく、主にウルム氷期の頃の降雨によってなされたことを意味している。トリチウムの少ないこともこのことを支持している。

JICA 調査井における下部白亜紀帯水層の水理地質学的データを以下の表に示す。

< 南シナイ下部白亜紀帯水層における水理地質学的データ >

Well Name	S.W.L. (mBGL)	D.W.L. (mBGL)	Discharge Rate (m ³ /h)	Specific Capacity (l/s/m)	Trans- missivity (m ² /day)	TDS (mg/l)
JICA 1	312.8	317.9	39.6	2.2	950.4	1,206
JICA 2	424.0	443.4	23.0	0.3	109.2	1,182
JICA 3	284.4	6.0	35.6	1.6	470.3	470
JICA 4	501.0	501.2	10.6	2.5	19.9	1,047
JICA 6	438.5	439.3	9.6	3.7	114.8	1,520

(5) 下部白亜紀帯水層の水質

既存データを含めた水質分析結果によると、下部白亜紀帯水層の水質は主として飲料に適している。各部ロックごとの TDS を以下の表にまとめた。

< 下部白亜紀帯水層 TDS >

Location	Measured TDS Value (mg/l)			Remarks (Well Name)
	Lowest	Highest	Average	
Main Block (El Tih Plateau)	470	1,520	997	JICA-1 to 6
Gharandal Sub-Block	-	-	1,822	Gharandal-1
Nakhl and Themed area	1,536	1,768	1,667	Nakhl-1 to 8
Sheira Block	1,080	1,562	1,173	Sheira-1, 3, 4
Feiran Block	784	840	812	Feiran-1, 2

TDS 値は、メインブロック、Sheira ブロックそして Feiran ブロックで飲料水水質基準を満足している。他のブロックでは、基準を満たしていないが、農業用には適している。

3-5 古生代帯水層

古生層は W. Zalaga と W. Garf の上流域に露出しているが、W. Gharandal 地域では完全に若い地層に覆われている。W. Zalaga 及び W. Garf では古生代帯水層は、降水と洪水によって涵養されている。しかしながら、その TDS 値は一般に飲料水基準よりかなり高い。例えば、W. Gharandal では、5,060 mg/l である。

3-6 先カンブリア紀の岩石

いくつかの泉が St. Catherine、Wadi Zalaga そして Wadi Watir 地域の先カンブリア紀基盤岩から湧出している。

< 先カンブリア紀基盤岩の泉 >

Area	Name of Spring	TDS (mg/l)	Geological Situation
St. Catherine	El Rabba	160	Joints in granite
Wadi Watir	Ain Furtaga	1,088 - 1,368	Fissures in granite and contact zone with dorelite
Wadi Zaghara	Ain Umm Ahmed	5,123	Contact zone between granite and dorelite

先カンブリア紀の岩石は一般に不透水性であるが、岩体に形成された裂隙、節理、断層に地下水が浸透して、第四紀 wadi 堆積物に流下している。このように、先カンブリア系は第四紀帯水層に対して涵養源および暗渠のような役目をしている。よって、先カンブリア系から井戸によって直接地下水を開発することはほとんど不可能である。

4. 地下水ポテンシャル評価

4-1 El Qaa Plain の第四紀帯水層

(1) 水収支現況

El Qaa Plain の水収支の現況は次のように計算される

Item	($10^6 \text{ m}^3/\text{y}$)
Recharge	5.9
Extraction	3.4
Discharge to the Sea	2.5
Balance	0.0

(2) 地下水ポテンシャルと評価

El Qaa Plain の現況の水収支は、涵養と流出及び汲み上げ量のバランスがとれており、水収支面からのみ言えば開発余剰量はないことを示している。しかしながら、社会経済的な観点から現実的な開発ポテンシャルをシミュレーションによって以下のように検討した。

El Qaa Plain の第四紀帯水層は約 $12.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ の地下水を賦存している。地下水ポテンシャルをコンピューターによるシミュレーションによって、5つのケースについて検証した。その結果を次に示す。

<El Qaa Plain におけるシミュレーション条件> Unit: $10^6 \text{ m}^3/\text{year}$

Case	Recharge	Decrease of Storage	Total	Present Withdrawal	Increase of Withdrawal	Discharge to the Sea	Total
Present	5.90	0.00	5.90	3.44	0.00	2.47	5.91
Case 1	5.90	3.36	9.26	7.30	3.86	2.10	9.40
Case 2	5.90	2.01	7.92	5.48	2.04	2.34	7.81
Case 3	5.90	1.01	7.01	4.56	1.12	2.49	7.05
Case 4	5.90	0.36	6.26	3.65	0.21	2.62	6.27
Case 5	5.90	2.09	7.99	5.48	2.04	2.42	7.89

ケース1から5の開発計画において地下水は有望帯水層地域で開発する計画である。このうちケース5については、El Qaa Plain 北部に分布する塩分濃度が高い地下水が有望帯水層地域へ進入するのを防ぐため、ケース2に灌漑用水の開発を付け加えたものである。

<水収支結果の評価基準>

Rank	Annual Residual Drawdown (m)	Description
A	0.00 - 0.02	Not surely safe, but allowable if there is no alternative plan
B	0.03 - 0.01	The aquifer storage will be possibly depleted in future
C	0.11 <	The aquifer storage will be probably depleted in near future

<水質面での評価基準>

Rank	TDS	Description
A	< 1,000	Good : Good quality
B	1,000 - 1,500	Allowable : Slightly poor quality, but not exceed drinking water quality standards
C	1,501 <	Not allowable : Exceed drinking water quality standards

<環境面での評価基準>

Rank	Total Residual Drawdown (m)	Description
A	0.00 - 0.50	Allowable: No problems for practical use
B	0.51 - 2.00	Undesirable : Partly damaged
C	2.01 <	Not allowable : Damaged

各ケースについてのモデルシミュレーション結果を次に示す。

Case	Pumpage (m ³ /day)	Add (m ³ /day)	Water Balance	Water Quality	Environmental Impact	Economic
1	20,000	10,585	UD	A	NA	G
2	15,000	5,585	UD	G	NA	G
3	12,500	3,085	A	G	UD	G
4	10,000	585	A	G	A	G
5	15,000	5,585	UD	G	NA	G

Remarks; G: Good, A: Allowable, UD: Undesirable, NA: Not Allowable

Pumpage: Total pumpage, Add: Additional pumpage

ケース3及びケース4については双方とも許容範囲内である。ケース3における新規地下水開発量は3,000 m³/dayである。この量が El Qaa Plain における地下水揚水のポテンシャルと考えられる。しかし、開発によって周辺の素堀浅井戸への影響に配慮する必要がある。ケース2と比較した場合、ケース5は灌漑用水の揚水によって塩水が地下水開発地域へ進入するのを阻害する効果があることが認められた。

4-2 下部白亜紀砂岩層

(1) 地下水貯留量

各ブロックにおける地下水貯留量を次に示す。

< 下部白亜紀砂岩層内の地下水貯留量 >

Block	Area (km ²)	Average thickness (m)	Effective porosity	Storage* (x 10 ⁹ m ³)
Main Block	4,380	240	0.15	98
Sheira Block	675	200	0.15	13
Feiran Block	90	197	0.15	1.6

*: Strage without groundwater in the unconfined zone.

(2) メインブロックの開発ポテンシャル

メインブロックの地下水開発ポテンシャルを評価するため、メインブロック内の利用可能地下水量を次の条件で推算した。

- i) 現在の水収支上の不足分は 2.38×10^6 m³/year である。
- ii) 帯水層への涵養量は安全側にとって、0とする。
- iii) Ragabet El-Naam Fault を越え、南シナイから北シナイへ流れる量は 1.38×10^6 m³/year とする。
- iv) メインブロックから Gharandal サブブロックへ流出する量は、計算を単純化するため0とみなす。
- v) 地下水開発は Nakhl 及びその南側の隣接地域で行われるものとする。
- vi) 地下水位の低下は、現在の水頭勾配を保ったまま生じるものとする。
- vii) 地下水の揚水は Nakhl における水頭が地表下 400 m になるまで継続できるものとする。

現在のにおける水頭が地表下 201 m であるから、水頭が地表下 400 m まで低下するまでの利用可能量は 13.9×10^9 m³ と推算される。これはメインブロックの総貯水量の 14% に相当する (図 S-3 参照)。

下部白亜紀砂岩層の水資源評価図は地下水位と水質（TDS）を評価基準として作成し、巻頭に示す。

5. 既存水利用状況及び将来水需要予測

5.1 既存給水施設

南シナイにおける既存給水施設の水源は次の3つのカテゴリーに分類される。

- i) スエズ湾沿岸の Ras Sudr, Abu Zenima 及び Abu Rudeis へのナイル川からの導水
- ii) Sharm El Sheikh, Nuweiba 及び Dahab における海水淡水化
- iii) El Tur, St. Catherine 及び内陸部の村落における地下水

1997年における実質的給水能力及び水需要は下表に示すとおり、それぞれ 33,820 m³/day 及び 39,289 m³/day である。現在の水需要に対して給水能力は 5,500 m³/day 不足している。

5.2 既存下水道施設

南シナイにおける既存下水施設は、次の3つのカテゴリーに分類される。

- i) 下水処理施設による処理
- ii) 一次処理後の地中浸透処理
- iii) 砂漠への散布

酸化池は都市部の下水処理施設に設置されている。El Tur では更に活性汚泥処理施設が付加されており、処理後の水は植林への散布用として再利用されている。

5.3 将来水需要予測

将来水需要予測の項目は生活用水、観光用水、産業用水及び農業用水である。予測はシナイ国家開発計画に基づいておこなった。結果は下表に示す。

< 1997年における実質給水能力及び水需要 >

City Name	Water Source	Production Capacity	Water Demand in 1997					Balance
			Residents	Tourists	Others	Loss	Total	
1. El Tur	Groundwater	6,000	4,014	120	1,498	240	5,872	128
		10,260	2,041	9,590	2,561	410	14,602	-4,342
2. Sharm El Sheikh	Groundwater from El Tur City	1,000	-	-	-	-	-	-
	Seawater	9,260	-	-	-	-	-	-
3. Dahab		2,000	1,066	1,155	499	80	2,800	-800
	Groundwater*2	[500]	[500]	-	-	-	[500]	-
	Seawater	2,000	-	-	-	-	-	-
4. Nuweiba		3,560	1,604	2,041	639	102	4,386	-826
	Groundwater*2	[2,700]	[2,700]	-	-	-	[2,700]	-
	Spring Water	2,560	-	-	-	-	-	-
	Seawater	1,000	-	-	-	-	-	-
5. St. Catherine	Groundwater	450	1,196	674	112	18	2,000	-1,550
6. Abu Rudeis	Nile River	2,750	2,109	0	661	110	2,880	-130
7. Abu Zenima	"	2,700	1,580	0	424	68	2,072	628
8. Ras Sudr	"	6,100	1,844	1,066	1,523	244	4,677	1,423
Total		33,820	15,454	14,646	7,917	1,272	39,289	-5,469

[unit: m³/day]

< NPDSに基づく将来水需要予測 >

(unit: m³/day)

Consumer \ Year	1997	2002	2007	2012	2017
Residents (Urban Area)	7,495	11,040	28,357	66,390	152,412
Residents (Rural Area)	3,217	3,445	5,372	6,460	7,698
Tourists (Hotels)	9,338	16,034	19,862	23,691	26,728
Industries	2,140	2,568	3,210	3,852	4,494
Agriculture	9,872	36,655	50,114	62,357	73,743
Others (loss, etc.)	1,110	1,654	2,840	5,020	9,567
Total	33,172	71,396	109,755	167,769	274,643

6. 地下水開発計画

6-1 設計条件

シナイ国家開発計画に基づく水需要に対応するため、図 S-4 と次表に示す教案の開発計画を立案した。水質の基準はエジプト国の飲料水水質基準に定める TDS 値 1,500 mg/l である。

< 地下水開発計画の概要 >

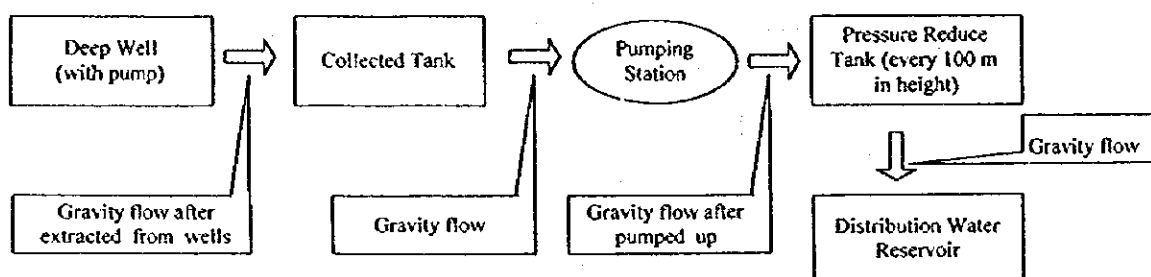
Development Plan	Target Year	Development Capacity (m ³ /day)	Service Area	Main Purpose of Supply	Water Source Aquifer
Plan 1	2017	57,500	Ras Sudr, Abu Zenima, Abu Rudeis	Residential use	Lower Cretaceous
Plan 2		35,000	Nuwiba, Taba		
Plan 3	2007	5,300	El Tur		Quaternary
Plan 4	2017	11,700	Sudr El Heitan	Agricultural use	Lower Cretaceous
		13,700	Malha		
		11,700	Themed		
Plan 5		5, 25, 50	Bedouin Community	Common use	Wadi deposits

各項目毎の日平均単位水需要量は次の通りである。

- i) 生活用水 (都市部) : 240 l/人/日
- ii) 生活用水 (村落部) : 120 l/人/日
- ii) 観光用水 : 400 l/人/日
- ii) 産業用水 : 107 l/ha/日
- ii) 農業用水 : 16.3 l/ha/日

6-2 施設計画

施設容量は各プラン毎に 2017 年の水需要を考慮して計画した。ただし、プラン 3 のみは開発ポテンシャルを考慮して 2007 年までの水需要に対応した計画となっている。したがって、2007 年以降の水需要増加分に対しては新たな水源、例えばナイル川からの導水等が必要である。各プランの典型的な施設計画は次図に示す。



< 地下水開発施設の典型計画例 >

< 施設計画の概要 >

	Development Capacity (m ³ /day)	Intake Facility			Conveyance Facility		
		Intake Well		Pipeline	Pumping Station	Pipeline	Reservoir
		No.	Depth (m)	Length (km)	No.	Length (km)	(m ³) x No.
Plan 1	57,500	92	1,000	109	1	64	7,250 x 4
Plan 2	35,000	56	1,000	70	4	181	7,250 x 4
Plan 3	5,300	9	155	19	0	9	1,400 x 2
Plan 4A	11,700	19	1,000	7	0	0	360 x 19
Plan 4B	13,700	22	1,000	7	0	0	360 x 22
Plan 4C	11,700	19	1,000	7	0	0	360 x 19
Plan 5A	5	1	20	0.1	0	0	5 x 1
Plan 5B	25	1	20	0.1	0	0	25 x 1
Plan 5C	50	2	20	0.1	0	0	50 x 1

6-3 運営、維持管理計画

給水事業における重要事項は下記に示すが、南シナイでは水資源が十分ではないことを考慮するとこれらの実施は急務の課題である。

- i) 都市における管理組織の確立
- ii) 水道料金体系の確立
- iii) 水質及び水量の監視
- iv) 節水思想の普及
- v) 水源汚染の防止

日常の維持管理業務において次の事項の実施が重要である。

- i) 水量計及び自動制御施設の監視員の配置
- ii) 消毒施設

7. プロジェクト評価

7-1 プロジェクト評価の考え方

地下水開発計画は定量的・定性的な広範にわたる便益をもたらすであろう。NPDS に述べられているように、「水資源」はその実現のための必須条件である。プロジェクト評価においては、定量的要素だけでなく定性的要素についても評価すべきである。本章において、評価は以下の要素について行われた。

- 定性的要素による評価
- 経済・財務評価（定量的要素）
- 環境評価
- 地下水貯留評価

7-2 定性的要素による評価

開発計画プラン1～5による主な想定される定性的便益は以下の通りである。

- 移住によるカイロ首都圏の人口集中緩和
- ナイル川の水の節約
- その他

1) 移住によるカイロ首都圏の人口集中緩和

全人口の99%はナイル川沿いおよびそのデルタ地域の限られた耕地に過度に集中している。エジプト政府はこれまでこの問題と向き合ってきた。NPDSの主要課題の一つは、カイロからシナイへの移住計画を明らかにすることである。下部白亜紀の帯水層に関する地下水ポテンシャル評価によるとNPDSの目標年における需要量を280年間賄えることを示している。すなわち、地下水開発は水供給の面で移住計画に対して大いに貢献をするであろう。

2) ナイル川の水の節約

NPDS以外の巨大プロジェクトがEl Toshuka、Shark El Oveirat、Suez湾などで進行中である。これらのプロジェクトは莫大な量の水をナイル川に依存している。しかしながら、それは、将来ナイル川の深刻水不足の原因となるであろう。

目標年におけるNPDSの水需要は134,900m³/日である。もし、この量が地下水で賄えたら同量のナイル川の節水となり他のプロジェクトへ回すことができる。今現在、節約された水の使い道を他のプロジェクトに特定することは難しい。ナイルの水を節約することそのこと自身が大きな便益である。

3) その他

その他の便益は以下の通りである。

- 水媒介性病の低減
- 乳児死亡率の低減
- 生活水準の改善
- 観光振興への貢献
- 地価の上昇
- その他

7-3 経済・財務評価

1) 経済評価

各プロジェクトにおける経済評価係数の算定結果は以下の通りである。

<経済評価結果>

Project	EIRR (%)	NPV (LE Million)*	B/C*
Plan 1	5.2	-124	0.57
Plan 2	3.3	-181	0.45
Plan 3	24.0	19	2.41
Plan 4A	0.5	-32	0.44
Plan 4B	0.6	-36	0.43
Plan 4C	0.5	-32	0.44

Note: * Discounted at 10%.

経済的内部収益率(EIRR)はプラン3のみが資本の機会費用(10%)を越える24%となった。EIRRはプラン1の場合5.2%、プラン2の場合で3.3%であり10%には達しないが、南シナイの水供給の難しさを考慮すれば、また他の開発途上国の水道プロジェクトと比較してもプラン1の場合の5.2%は決して低い経済効率とは言えない。昭和60年発行「世銀の経験から学ぶ開発投資」の著書に、“低所得者層への供給と人間としての基本的ニーズへ対応する水道・公衆衛生事業では資本利益率が6ないし8パーセントを上回るのは稀である”と述べられている。このように5.2%という率は、開発途上国の水道事業という事情から言えば低くはないといえる。なお、提案プロジェクトの建設費が現見積額の45%程度削減されれば、EIRRは10%を越えることができる。

プラン4のEIRRは遙かに10%に達しない。この観点からいえば、実行可能な計画はプラン3のみである。しかしながら、シナイ半島という特殊性を考えると、プラン1及びプラン2ともに実行可能と言えよう。

ナイル川の水はエジプト国内の多くの地域で利用されており、将来の水需要の増加に対応することは困難である。このような背景を考えると、ナイル川の水の水価は高くなり、プラン1及びプラン2の便益も将来増大することが考えられる。

灌漑計画については、地下水開発の初期投資及び維持管理費が高過ぎ、経済的な観点からのプロジェクト実現は困難である。しかし、南シナイにおける食料自給率向上のために農業開発プロジェクト促進する上で重要である。

2) 財務評価

財務評価指標は各プロジェクト毎に計算されたが財務的内部収益率(FIRR)はすべてネガティブである。つまり、現況の水道料金と資金調達を基で「独立採算性」を実現しようとするならば、経営的観点から全てのプロジェクトは実施不可能である。全経費が収益を大幅に上回り、政府の財政支援がない限り運営できないということである。

「シナイ国家開発計画」の方針から、水道プロジェクトにおける水道料金を引き上げることは難しい状況下にある。従って収益の増加は望めず、プロジェクトの実現のためには次のような財政支援が必要となる。

- i) 施設の初期投資を全て政府からの無償援助で、また維持管理費の半分を継続的に補助金で補填する。
- ii) 維持管理費の残りの半分については、料金徴収により賄うことができる。こうすることで FIRR は 10% を越える。これは政府にとっては重い負担となるが、プロジェクトの効用を享受するには致し方ないと考えられる。

灌漑プロジェクトが財務的に実施可能となるためには、作物の売り上げが上記計算収益の 3 倍を見込む必要があり、これは不可能である。財務的視点から実現するためには、全経費の 70% 以上が財政支援によって賄われることで、FIRR が 10% を越えることになり実現性がうかがえる。

7-4 環境評価

各開発計画の環境初期評価 (IEE) の結果は以下の通りである。

Category	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4	Plan 5
A	0	0	0	0	0
B	0	2	2	3	3
C	*23	21	21	20	20

A: Impact is strong. B: Some impact is expected. C: Impact is very small.

それによると、本地下水開発計画の実施は環境面への重大な影響は引き起こさないと結論づけられる。その理由は次の通りである。

- i) 南シナイのほとんどの地域は砂漠気候下にあり、植生や動物の生息地域は限られている。開発計画はそのような地域を含んでいない。したがって、調査地域内の環境は開発計画によって直接の影響を被ることはない。
- ii) 開発施設は小規模のもので、大規模な土地取得は不要である。したがって、開発計画は環境面への重大な影響は生じない。
- iii) 開発計画は、むしろ経済活動や公衆衛生の向上に貢献するものである。

7-5 地下水利用可能量の評価

下部白亜紀帯水層を対象とした地下水開発計画の水需要量および北シナイへの流出量の和は $49.45 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ である。下部白亜紀帯水層のメインブロックにおける利用可能量は $13.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ であるから、利用可能年数は

$$13.9 \times 10^9 \text{ m}^3 \div 49.45 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year} = 281 \text{ (年)}$$

である。したがって、メインブロック内の利用可能地下水貯留量によって、上記水需要に対して 2017 年以降 281 年間賄うことができる。

一方、NPDS では農業用水として表流水の利用を想定しているため、農業用水の取水量を差し引いた場合の利用可能年数は 387 年となる。

7-6 プロジェクト評価の結論

PDSを推進するための基礎条件として「水」の確保を考えると、その水源としてナイル川、淡水化、地下水があげられる。本調査で、地下水の質・量のポテンシャルが確認され、またその「水価」が現在のところ最も安価であることがわかった。しかし、今回提案された給水プロジェクトは、州都 El Tur 近傍の浅層地下水を利用する Plan-3 を除いていずれも未開の砂漠を深井戸で開発するというプロジェクトであるため満足のゆく EIRR、FIRR は当然のことながら得られていない。しかし、むしろ NPDS の実現を支えるインフラストラクチャーの中の重要な項目として推進する価値がある。

8. 勸告

- (1) Er Qaa Plain 南部で新しい地下水帯水層が確認されたが、その分布状況、水理地質学的特徴を詳細に調査する必要がある。
- (2) NPDS に与える水供給効果の評価を含む詳細なフィジビリティ調査を出来るだけ早急に開始すべきである。その調査は、地下水と表流水を含み、過剰揚水を防ぐために地下水モニタリングシステムの設立も含むべきである。さらに、下水、廃棄物処理調査もまたその計画に含まれるべきである。
- (3) 良好な水質の地下水がシナイ半島中央部においても利用できることは、同地域のベドウィンの人々の定住化を促進するに違いない。それはまた、これらの人々の生活水準を改善させるという極めて良好な効果をもたらすことを意味する。これらベドウィンの人々に対しては、更に包括的な開発計画を提起すべきである。
- (4) 北両シナイにおいては地下水生産井の数が増え続けている。これらの井戸は下部白亜紀帯水層から揚水している。下部白亜紀帯水層の地下水は表流水からの幾分かの涵養は期待できるものの、本質的には化石水である。下部白亜紀帯水層の地下水を開発すれば地下水位の低下は免れられない。したがって、シナイ半島における下部白亜紀帯水層の開発は適切な管理体制の下で行われなければならない。特に、開発に際しては地下水位の変動に細心の注意を払うべきである。これらの観点から、本調査において設置した自記水位計による水位のモニタリングは適切に継続するべきである。

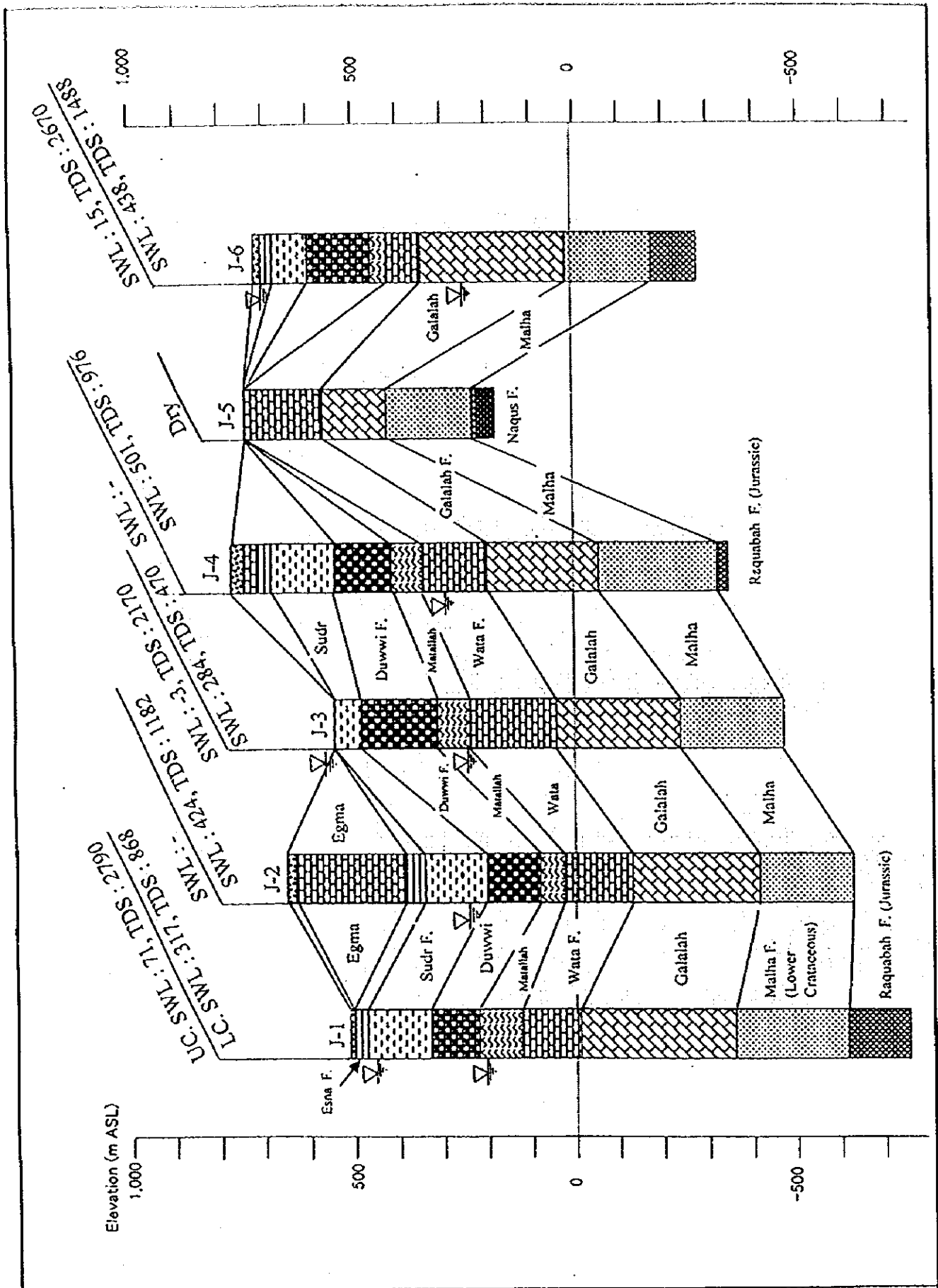


図 S-1 JICA 試掘井の地質層序の対比

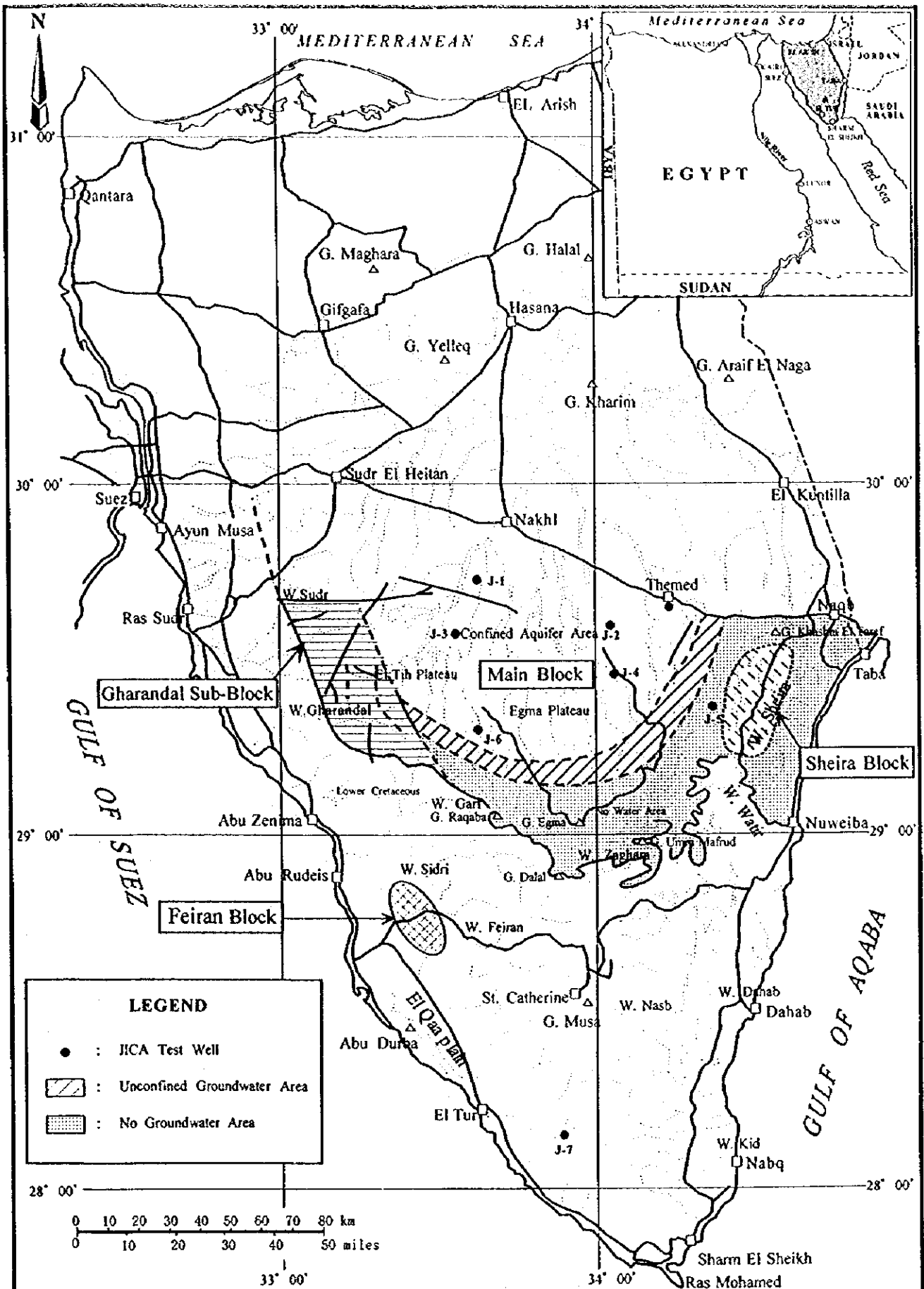


図 S-2 メインブロック (下部白亜紀帯水層) の帯水層区分

SOUTH SINAI GROUNDWATER RESOURCES STUDY IN THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT

JICA

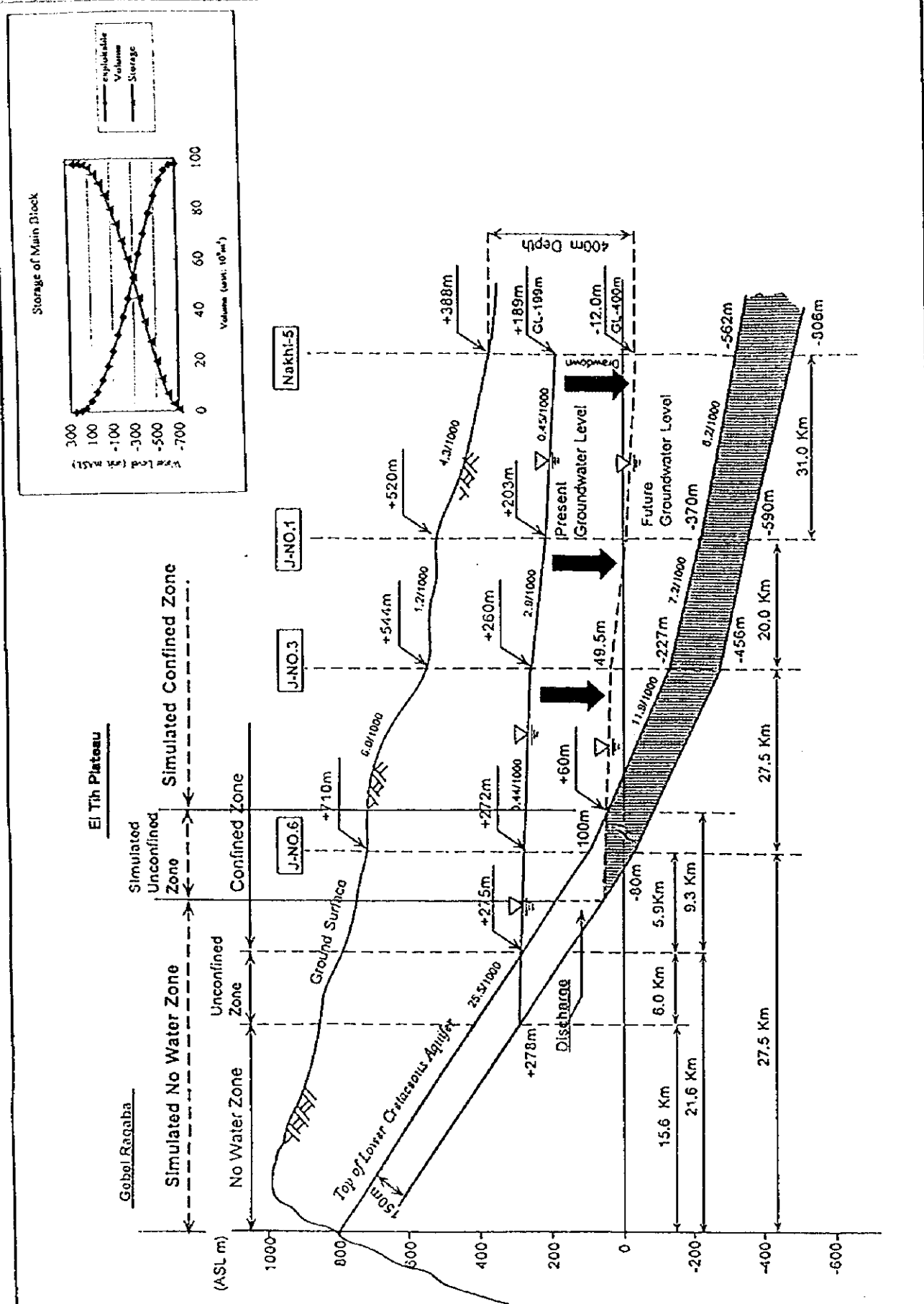


図 S-3 下部白亜紀帯水層の地下水頭と貯留量のシミュレーション

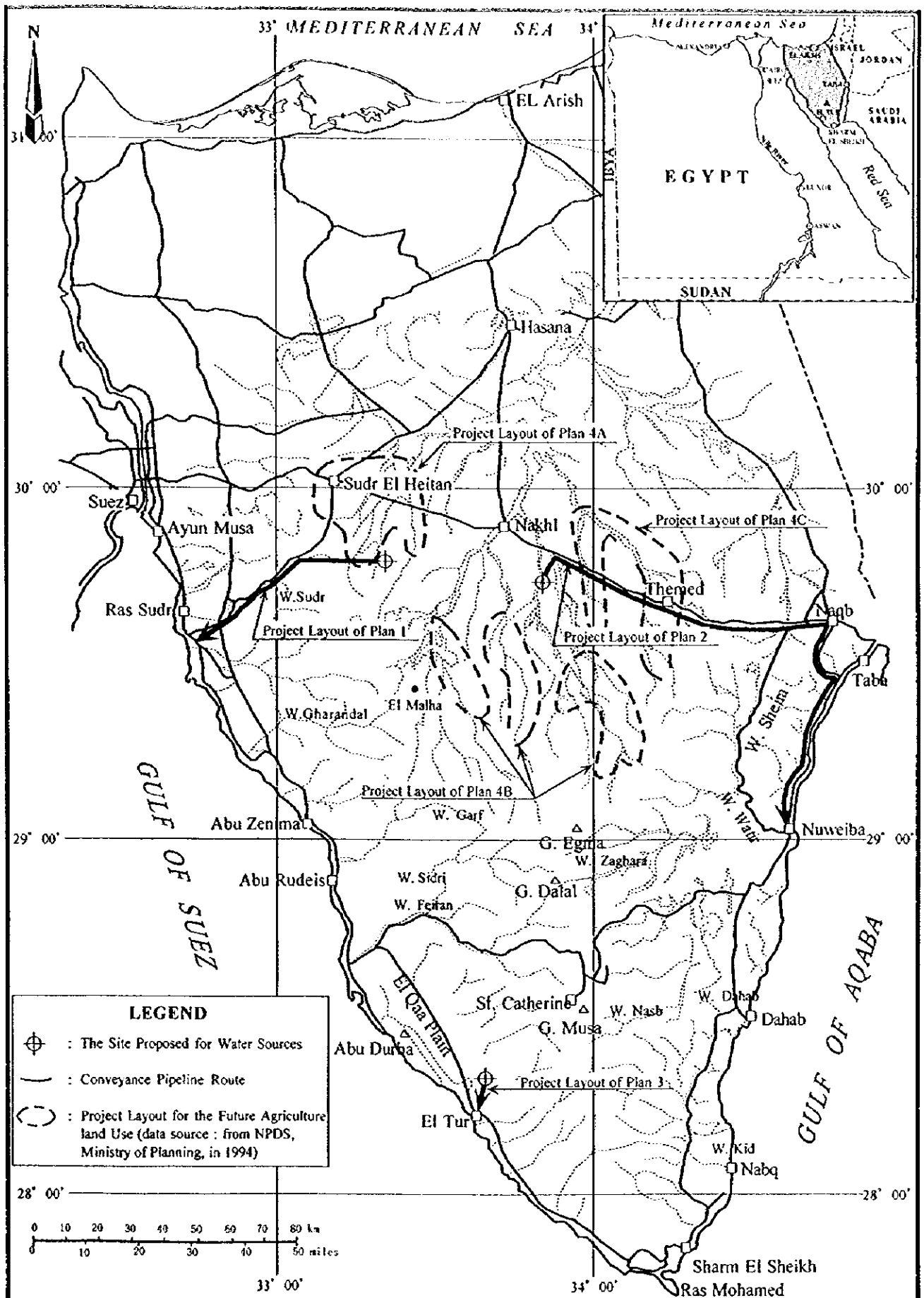


図 S-4 計画概要

SOUTH SINAI GROUNDWATER RESOURCES STUDY IN THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT

JICA

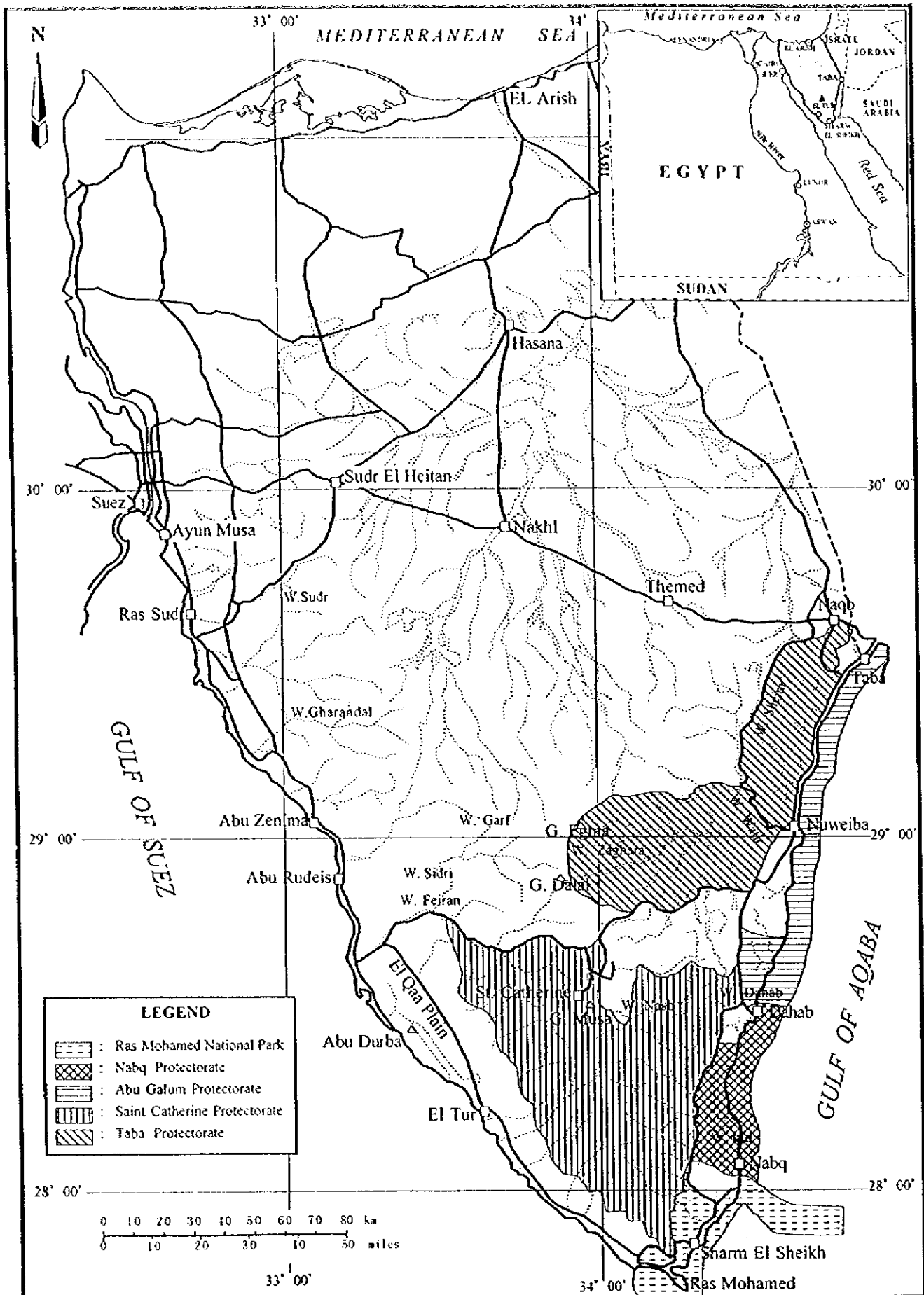


Fig. S-5 The Protected Areas in South Sinai

JICA

JICA
LIBRARY