

**マレーシア国新首都圏
地下水資源・環境管理計画調査
事前調査報告書**

平成12年1月

国際協力事業団

序 文

日本国政府は、マレーシア国政府の要請に基づき、同国の新首都圏地下水資源・環境管理計画に係る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いたしました。

当事業団は、本格調査に先立ち、本件調査を円滑かつ効果的に進めるため、平成11年12月6日より12月24日までの19日間にわたり、国際協力専門員丸尾祐治氏を団長とする事前調査団（S/W協議又は予備）を現地に派遣しました。

調査団は本件の背景を確認するとともにマレーシア国政府の意向を聴取し、かつ現地踏査の結果を踏まえ、本格調査に関するS/Wに署名しました。

本報告書は、今回の調査を取りまとめるとともに、引き続き実施を予定している本格調査に資するためのものです。

終わりに、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12年1月

国際協力事業団
理 事 泉 堅 二 郎

マレー半島全図→

マラッカ海峡

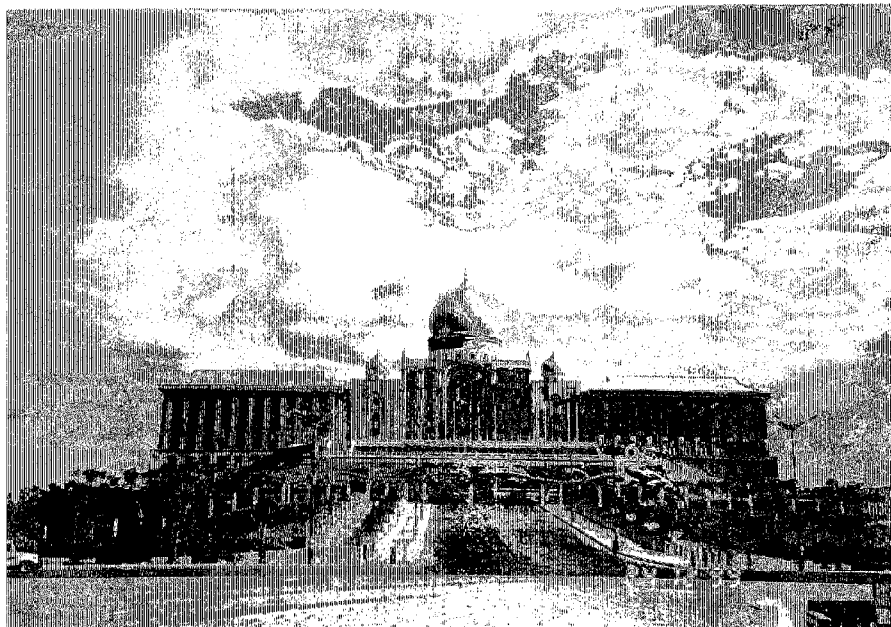
セラングール州

KUALA
LUMPUR

Putrajaya
Cyberjaya

調査対象地域

0 20 40 Kilometers



1. Putra Jaya の新しい首相官邸



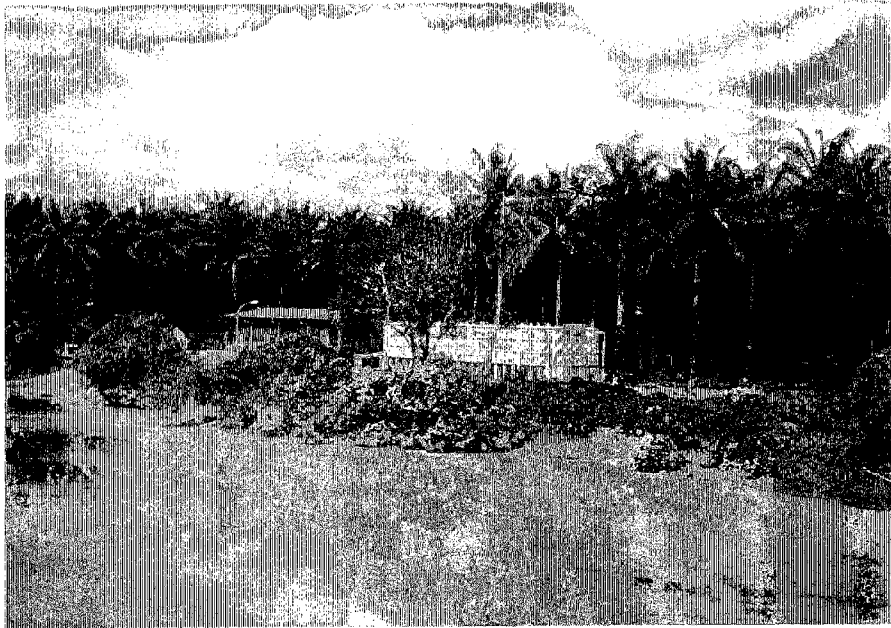
2. 空から見た新国際空港周辺の開発状況



3. 湿地を生かした公園建設が進む Paya Indah



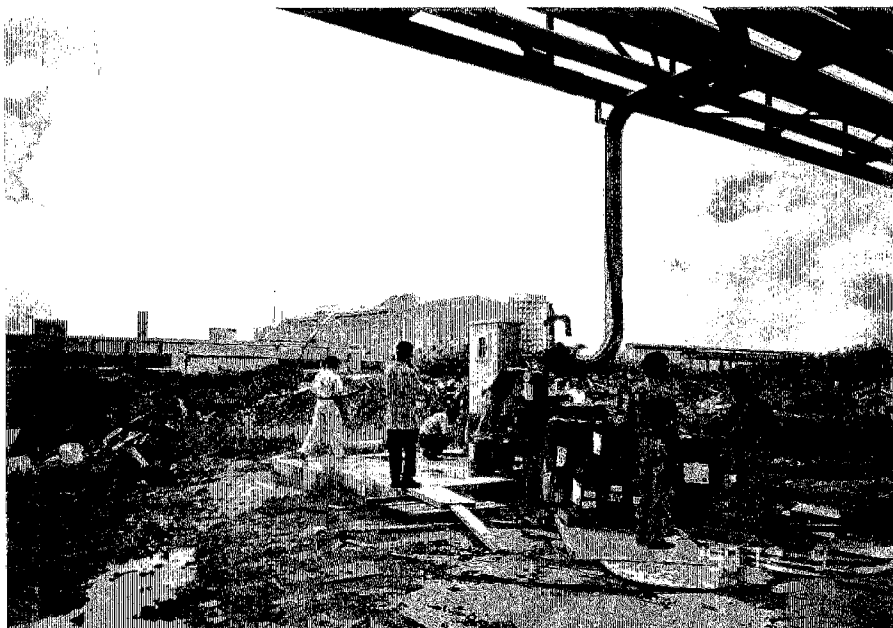
4. ランガット川（テロダトゥ付近）



5. テロダトゥ付近の揚水井戸施設
油ヤシプランテーション労働者の村への給水用



6. オラ克蘭ピットの揚水井戸



7. メガスチールでの揚水井戸施設



8. JMG、イポー事務所のGIS施設の一部



9. JMG、本部のGIS施設の一部



10. S/W調印

目 次

序 文

調査対象地地図

写 真

第1章 事前調査の概要	1
1－1 要請の背景	1
1－2 事前調査の目的	1
1－3 調査団の構成	2
1－4 調査日程	3
1－5 協議概要	4

第2章 本格調査への提言	5
2－1 調査の目的及び基本方針	5
2－1－1 調査の目的	5
2－1－2 調査の基本方針	5
2－2 調査対象地域	6
2－3 調査項目と内容	6
2－4 調査実施上の留意点	7
2－5 調査工程と要員構成	9
2－6 調査用資機材	9

付属資料

1. T／R、S／W、M／M	13
2. 調査対象地域の概要	46
2－1 一般概要	46
2－2 自然状況	46
2－3 社会・経済状況	46
2－4 水文・地質	47
3. 地下水資源／環境管理の現状と課題	48
3－1 水利用状況	48

3-2	既存井戸の現況 (賦存量、水量・質、使用年数、維持管理状況他)	48
3-3	地下水資源／環境管理に関する計画・法制度	49
3-4	地下水資源／環境管理に関する機構・組織	49
3-5	地下水資源／環境管理関連計画	49
3-6	地下水資源／環境管理に関する課題	52
3-7	地下水資源／環境管理に関する既存データ・資料等の状況	52
4.	G I Sに関する状況	54
4-1	マレーシア全体の状況	54
4-2	鉱物・地球科学局（JMG）の状況	54
4-3	G I S関連の既存データ・資料等の状況	56
5.	主要面談者リスト	60
6.	クエスチョネア	63
7.	収集資料リスト	73
8.	ローカルコンサルタントリスト	77
9.	物価調査表	83

第1章 事前調査の概要

1-1 要請の背景

- (1) マレーシア国クアラルンプール及びその周辺地域では、急激な都市化・工業化が進行したため、急激な水需要の伸びによる水不足、水質汚濁を含む都市環境の悪化が大きな社会問題となっている。
- (2) 水不足に対応するため、セランゴール州では代替を地下水資源に求め、既に一部の工場では、工業用水として地表水から地下水利用へとシフトしつつある。
- (3) しかしながら、地下水の無計画な利用は、地盤沈下、海水の浸入による地下水の塩水化、地下水位の低下による湿地帯の枯渇等の深刻な環境問題を引き起こす。また、同地域では工場、ごみ処理場等からの排水により地下水汚染が進んでいる地区もあり、住民の健康への影響も懸念されている。
- (4) このため、マレーシア国政府は、第7次開発計画を修正し、当地域での地下水資源開発及び環境保全対策を最重点項目とするとともに、既に同計画のもとで当時の第一次産業省地質調査所は地下水資源開発調査、科学技術環境省環境局は地下水汚染調査を開始している。
- (5) しかし、両調査は各々の目的に沿う方向での現状把握に留まり、また相互間の連携はとられていない。このため、持続可能な地下水資源の利用と安全な地下水を供給するためのバランスのとれた横断的・総合的な地下水資源／環境管理計画の立案が急務となっている。
- (6) このような状況を背景として、1999年マレーシア国政府は我が国に対し、本件調査実施を正式に要請した。

今回は、実施調査の実施細則（S／W）にかかわる署名・協議を行うための事前調査団を平成11年12月6日に派遣し、同月16日にS／W署名交換を行った。

1-2 事前調査の目的

クアラルンプール周辺のなかからモデル地区として、新空港、首都機能等、今後の開発の中心となり地下水開発の集中が予想されるランガット流域（1,815km²）を選定し、環境との調和を図った地下水資源開発と水質保全に関する管理計画を策定する。さらに、計画実施に必要となるモニタリングと情報に関するパイロットシステムを構築するとともに、本計画の持続的実施のための組織拡充、人材育成計画の策定も行う。

今回は以下の点に留意しつつ、本格調査のS／W協議・署名交換を目的とした事前調査団（S／W協議）を派遣した。

- (1) 本件調査の要請内容について、調査対象地域であるランガット流域の現状、問題点等を把握し、本調査の必要性を明確にする。

- (2) 本件調査において策定される計画が、マレーシア国の地下水資源・環境管理に相応した支援であることを確認する。
- (3) 調査のカウンターパート機関（第一次産業省、鉱物・地球科学局（JMG））の実施体制及び関係機関相互の役割分担を明確にする。
- (4) 調査の過程での技術移転の対象者及び内容を明確にする。
- (5) 以上の内容に基づき、S/W協議・署名を行い、本格調査の実施方針を策定する。

1-3 調査団の構成

団員氏名	担当業務	所属	派遣期間
1) 丸尾 祐治 まる お ゆう じ	総括／地下水管理計画	国際協力事業団 専門員	1999/12/6 ～ 12/17
2) 水口 正美 みずぐち まさ み	環境管理計画	国際協力事業団 専門員	1999/12/6 ～ 12/17
3) 黒木 猛人 くろ き たけ と	調査監理	J I C A 国際協力専門員	1999/12/6 ～ 12/17
4) 小野 茂 お の しげる	土地利用計画（G I S）	アジア航測（株）	1999/12/6 ～ 12/24
5) 寒河江 武司 さ が え たけ し	地下水資源	基礎地盤コンサルタンツ（株）	1999/12/6 ～ 12/24

1－4 調査日程

日順	月日	曜日	調 査 内 容		
			官団員（水口団員）	官団員（丸尾団長、黒木）	役務提供契約団員
			コンサルタント団員は、12／1から国内作業		
	12/4	土	ハノイ[13:30] -- --クアラルンプール[17:50] (MH753)		
	12/5	日	資料整理		
1	12/6	月		成田[13:00] --クアラルンプール[19:30] (JL723)	
2	12/7	火	JICAマレーシア事務所打合せ 在マレーシア日本大使館表敬 鉱物・地球科学局（JMG）表敬 その他関係機関表敬		
3	12/8	水	S／W説明・協議（JMG他）		
4	12/9	木	S／W説明・協議（JMG他）		
5	12/10	金	S／W説明・協議（JMG他）又は現地踏査		
6	12/11	土	現地踏査		
7	12/12	日	情報収集・整理、団内打合せ		
8	12/13	月	M／M協議（JMG他）	情報収集・整理	
9	12/14	火	M／M協議（JMG他）	情報収集・整理	
10	12/15	水	M／M協議・署名（JMG他）		
11	12/16	木	在マレーシア日本大使館報告 JICAマレーシア事務所報告 クアラルンプール[23:00] --		
12	12/17	金	-- 成田[06:20] (JL724)		情報収集・整理
13 17	12/18 12/22	土 水			情報収集・整理
18	12/23	木			情報収集・整理 JICAマレーシア事務所報告
19	12/24	金			クアラルンプール[11:30] -- -- 成田[19:00] (MH070)
			コンサルタント団員は1／9まで国内作業		

1-5 協議概要

事前調査団は、平成12年12月6日よりマレーシア国内における事前調査を開始し、経済企画省、環境省、第一次産業省鉱物・地球科学局等を訪問した。これら関係者から有益な情報を収集するとともに、現行観測井、湿地帯（サンクチュアリー）、製鉄工場等を現地踏査し、調査対象地域の現状把握を行った。

S/W協議は第一次産業省鉱物・地球科学局と中心に行い、官団員帰国直前まで協議は難航したが、12月16日に、第一次産業省鉱物・地球科学局長チェン氏及び丸尾事前調査団長の2者間で、本格調査に係るS/W及びミニッツ（M/M）に署名を了した。

S/W、M/Mに係る協議概要は次のとおり。

- (1) 地下水モデルの作成に関し、先方より沖積エリア及びハードロックエリアの両方に対し調査を行ってほしい旨要請があったが、今回調査の主目的である地下水保全を考えた場合、予算的な制約もあり沖積エリアのみを対象としたい旨説明、取りあえず本部に持ち帰り検討することで合意した。
- (2) 「地質調査」に関し、当方は沖積層を対象とした場合、電気探査のみで良いと考えているとの説明に対し、先方より、電気・電磁・重力探査を組み合わせる必要があるのではとの意見があり、ハードロックエリアを地下水モデル作成の対象にした場合には考慮する旨説明を行った。
- (3) 地下水環境問題（汚染の拡散、海水浸入、地盤沈下）に対するモデル作成に関し、先方より作成してほしい旨の要望があったが、それらの問題は現在、今回の調査対象地域にて実際発生しているものではないため、作成できない旨説明、実際に発生している他の地域の例を用いて、その作成手法を示すこととした。
- (4) 土地利用計画（GIS）関連の先方の状況として、ハード、基本ソフト（GIS、モデル作成用）部分に関してはおおむね揃っているようであるが、本格調査にて更に資機材が必要になるかは今後検討する。また、情報（主に電子情報）の有無に関し先方説明に不明確な部分があり、先方のニーズ等を考慮のうえ、本格調査にて活用できる情報を確認していくこととした。
- (5) 本調査終了後の事業計画等について、先方より検討してほしい旨依頼されているが、現時点ではどういったプロジェクトを策定できるかは未定であり、本格調査時の課題とした。

第2章 本格調査への提言

2-1 調査の目的及び基本方針

2-1-1 調査の目的

本格調査の目的は、以下のとおり。

- (1) マレーシア国政府の要請に基づき、クアラルンプール周辺のなかからモデル地区として、新空港、首都機能等、今後の開発の中心となり地下水開発の集中が予想されるランガット流域(1,815km²)を選定し、環境との調和を図った地下水資源開発と水質保全に関する管理計画を策定する。さらに、計画実施に必要となるモニタリングと情報に関するパイロットシステムを構築するとともに、本計画の持続的実施のための組織拡充、人材育成計画の策定も行う。
- (2) 本件調査を通じて、マレーシア国側カウンターパート(C/P)に対して技術移転を行う。

2-1-2 調査の基本方針

調査地域一帯は、新首都圏として今後首都機能移転による都市化、ハイテク企業の誘致による工業化を進展させる、遠大な計画の対象地域である。既に国際空港は完成し、プトラジャヤには首都機能の一部は移設され、サイバージャヤでは幾つかのハイテク企業が操業を開始している。本調査は新首都圏の大部分を占める沖積低地帯での、水理地質学的調査が主体となる。沖積層の最上部にはピート層、そして軟弱な粘土層が存在し、その下方に厚さ数10mから100mの砂層が存在している。この砂層は有望な帯水層と見られており、既に幾つかの工場や自治体の上水道の水源として、生産井が稼働している。

このランガット川流域の沖積帯水層の地下水は、新首都圏での各種用途の水源として期待されている他、2004年に予想されている現首都圏の渇水時の代替水源としても、各方面から期待されている。一方沖積帯水層での大規模な地下水開発により、上述のピート層や軟弱粘土層の圧密による地盤沈下や、海岸部あるいは感潮河川からの塩水浸入等の懸念もある。また、かつてこの地域で採掘されたスズ鉱石採掘跡のピットが、各種廃棄物で埋め戻されており、これら廃棄物による地下水汚染も懸念されている。さらに、広大なスズ鉱石採掘跡地に湿地帯の動植物を移入して、サンクチュアリーを形成し、新首都圏のオアシス、エコツーリズムの拠点とする計画が進められており、この湿地帯を水理学的に保全する必要もある。

本調査の主要部分は、沖積帯水層からの大規模な揚水等による各種地下水障害を、許容できる範囲内に抑えつつ、各々の地区からどの程度の地下水開発ができるかの、開発・管理計画の策定、計画どおり管理が実施されているかのモニタリング計画の策定、及びそのための人材育成である。先方は最も効率的で汎用性のある調査・計画策定の手法、及び効果的なモニタリン

グの手法を導入／技術移転し、セミナーやワークショップにより幅広い人材の育成を図ることにより、この調査を今後全国的に適用するべく、モデルケースとして位置付けている。このような先方の要請に合致し、さらに地下水開発・管理に関する将来の法制化をも視野に入れた調査の実施が望まれる。

2-2 調査対象地域

マレーシア国クアラルンプール近郊のランガット流域（約 1,800km²）。

2-3 調査項目と内容

Phase I 基礎調査

- (1) 関連データ／情報の収集・分析（自然状況、社会・経済状況、土地利用計画・植生、井戸台帳・水利用状況、水資源／環境管理に関する法・制度、関連開発政策・計画等）
- (2) 地形／地質状況確認のための現地踏査
- (3) 地下水利用状況調査（井戸データ、汲み上げ日量、水位レベル、既存井水質）
- (4) 水位観測井ネットワークの整備
- (5) 地盤沈下のための水準網設置
- (6) 湿地帯環境の水文調査
- (7) 水需要予測
- (8) G I S 内容の決定
- (9) 物理探査
- (10) 土地被覆図等の地図データ整備

Phase II フィールド調査

- (1) コアボーリング、粘土層のサンプリング、圧密試験、地表水位ゲージの設置
- (2) 試験井掘削、電気検層、揚水試験、自動記録水位計設置
- (3) 間隙水圧と地下水位観測
- (4) 地表面沈下計の設置
- (5) 地下水位／水質の同時測定
- (6) 蒸発散（Evapotranspiration）の推定
- (7) 土地被覆図以外の関連図の作成（G I S 使用）

Phase III 管理計画策定

- (1) G I S の構築
- (2) 地下水モデルの開発（水収支調査、採集可能地下水量の推定、地下水位予測、地盤沈下の推定、海水浸入予測、汚染物質流出調査）

- (3) 地下水資源／環境管理計画策定
- (4) 地下水資源モニタリング計画策定
- (5) 組織・制度改革、人材育成計画策定

2-4 調査実施上の留意点

(1) 地下水モデル

沖積帯水層を対象として、Visual MODFLOW ソフトを使用し、地下水流動／水位予測の地下水モデルを作成する。地下水モデルの正確な対象地域は、都市計画等の開発計画、地下水データの集積度等を検討したうえで先方機関と協議して決定する。この地下水モデルを基本型として、同一地域内で地盤沈下、塩水浸入、汚染物質運搬のモデルを作成し、地下水モデルと連結させる。この沖積帯水層は、これから本格的な開発が進む地域であり、モデルを作成するために必要となる帯水層のデータが、物理的にも時間的にも十分に得られないことが予想される。このような場合、地下水モデルの作成そのものより、開発の進展・データの集積が進むにつれての、モデルの検証・修正、及びそれに伴う地下水管理計画の修正・変更がより重要となる。この点について先方C／Pに明確に認識させ、モデルの作成方法とともに、その検証・修正の方法についても、十分に時間をかけて技術移転を行うよう努める。また、地盤沈下、塩水浸入、工業廃棄物等からの地下水汚染に関しては、いまだ顕著な現象は生じていないとも予想される。その場合、他地域の事例を引用する等して、モデルの作成、その検証・修正方法等について、将来顕著な現象が発生した場合、C／P独自に対応可能とするべく、十分な技術移転を行う。

(2) データベース／GISの整備

現在JMGでは、地質と地下水を含むその関連情報の、全国的なデータベース整備と、地質図等のGIS化が進行している。今次本格調査においては、対象地域での地下水情報とその関連情報をGIS化することが求められているが、その規格は使用するソフト、ハードを含め、現在JMGが整備を進めているシステムと、整合性を持たすことが必要である。また、前述の各種地下水モデルと、GISとは何等かの形で連結させ、少なくともGISから一群のデータをファイルとして、直接地下水モデルに入力できる形式とすることが求められている。

(3) 湿地帯サンクチュアリーの保全

調査地域内の沖積低地で、かつてのスズ鉱石採掘跡地である広大な土地に、湿地帯の各種動植物を移入し、エコツーリズムの拠点として売り出すプロジェクトが進行している。このプロジェクトを実施しているのは自然保護NGOであるが、マハティール首相自身も強い関心を示しており、政府のバックアップを受けて推進されていると言われている。このプロジェクトにはJICAの長期専門家を始め、カナダ、インド等からも専門家が派遣されている。

このサンクチュアリーでは、1997年のエルニーニョ（異常気象）時に、渇水による地下水位の

低下によって、園内でピート層の火災が広範囲に発生し、貴重な植生の一部が破壊された経緯がある。このように、地下水位の低下によって園内の生態が大きな影響を受けやすいことが判明し、自然保護団体やプロジェクト側も周辺地域での今後の開発に神経質になっている。今次本格調査ではこのプロジェクト専門家の協力のもと、サンクチュアリーの上下流に観測井、ゲージステーション等を設け、入念な水収支の分析・水理学的調査を行い、対象地域全体の管理計画とともに、サンクチュアリー保全のため、特段の配慮が必要である。

(4) 調査結果の利用と事業化の提案

今次本格調査の主目的は、地下水管理計画、モニタリング計画の策定、その手法の確立、そのための人的資源開発等であるが、先方は調査結果を基に地下水開発に関する、将来の法的な整備をも考慮の対象としている。また、先方は調査の過程あるいは、最終調査結果を受けて、何らかの事業化計画等、調査結果をより有効に利用するための具体的な提言がなされることを期待している。

(5) 地図・地理データの入手

測量局から今回の調査の対象地域をカバーする1/63,360図や1/50,000図を購入あるいは入手するには、JMGから測量局あての正式な申請が必要であるが、申請から入手までには時間が掛かる。また、地形図と航空写真の国外持ち出しについてはマレーシア政府（軍及び測量局）からの許可が必要である。このため、場合によっては正確な地形図が使用できない可能性もある。

一方、マレーシアでは様々な公的機関でデジタル化された地図類が使われているが、デジタルデータそのものは外部には出さないのが慣例となっている。このため、GISのためのデジタル地図の入手は容易ではない。

かかる状況から、本格調査団は柔軟な対応が求められる。

(6) GIS担当の役割

JMGは既にGISの使い方について様々な経験をしてきており、GISの基本的な使い方についてはかなりの知識を有している。したがって本格調査団のGIS担当技術者の役割は、ArcViewやArcInfoの基本動作についての技術移転より、こうしたGISを地下水資源管理に具体的にどのように生かせるかを提示することにある。ただし、ファイルの管理はかなり乱れているようであり、GIS運用における合理的なファイル管理（データ操作の権限も含める）は指導する必要がある。

2-5 調査工程と要員構成

(1) 調査工程

S/Wに記載のとおり、全体で約 25 か月とする。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
現地調査																									
国内作業																									
報告書	▲ IC/R						▲ P/R(1)						▲ P/R(2)			▲ IT/R							▲ DF/R	▲ F/R	

IC/R : Inception Report

P/R(1) : Progress Report(1)

P/R(2) : Progress Report(2)

IT/R : Interim Report

DF/R : Draft Final Report

F/R : Final Report

(2) 要員構成案

団員の分野構成案は次のとおりである。

- ア 総括／地下水資源管理
- イ 水理地質 (1)
- ウ 水理地質 (2)
- エ 水文・水収支
- オ 物理探査
- カ 水質・地下水汚染
- キ 環境 (行政／制度／組織)
- ク 土地利用／GIS
- ケ 社会・経済 (水需要)

2-6 調査用資機材

本格調査の実施に際して、日本側にて準備する必要がある資機材は以下のとおり。

- (1) デスクトップパソコン
- (2) ノートパソコン

- (3) ソフトウェア各種（G I S、地下水シミュレーション、比抵抗トモグラフィー用等）
- (4) プリンタ
- (5) プロッタ
- (6) F A X機
- (7) 電気検層用機材
- (8) 携帯式水質検査機材
- (9) 観測井用水位計及びデータ収録機器
- (10) 地盤沈下計及びデータ収録機器
- (11) 衛星写真
- (12) その他コンピュータ周辺機器（ネットワーク用機材等）