

国際協力事業団  
マレーシア国 一次産業省 鉱物・地球科学局

マレーシア国

新首都圏地下水資源・環境管理計画調査

最終報告書

要約

平成14年3月

JICA LIBRARY



J1168435(4)

株式会社 建設技研インターナショナル  
応用地質株式会社

社調二

JR

02-16

国際協力事業団

マレーシア国新首都圏地下水資源・環境管理計画調査

最終報告書

要約

平成十四年三月

株式会社  
建設技研インターナショナル



国際協力事業団  
マレーシア国 一次産業省 鉱物・地球科学局

マレーシア国

新首都圏地下水資源・環境管理計画調査

最終報告書

要 約

平成14年 3月

株式会社 建設技研インターナショナル  
応用地質株式会社



1168435【4】

本報告書は、プロジェクトコストを含めて特に記載のない限り2001年価格で表示されている。  
これらの価格の一部は、2001年11月30日時点での通貨換算率として、以下の値により算定されている。

US\$1 = RM3.8000 = 123.98 円

## 序 文

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

当事業団は、平成 12 年 3 月から平成 14 年 3 月までの間、4 回にわたり株式会社 建設技研インターナショナルの佐々部圭二氏を団長とし、株式会社 建設技研インターナショナルおよび応用地質株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。

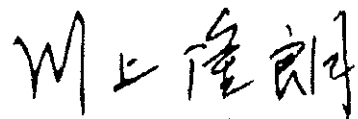
調査団は、マレーシア国政府関係者と協議を行なうとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

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 14 年 3 月

国際協力事業団  
総裁 川上 隆朗



## 伝 達 状

国際協力事業団  
総裁 川上 隆朗 殿

今般、マレーシア国における新首都圏地下水資源・環境管理計画調査が終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

本調査は、貴事業団との契約に基づき、株式会社 建設技研インターナショナルおよび応用地質株式会社の共同企業体が、平成12年3月から平成14年3月までの間に実施してまいりました。今回の調査においては、ランガット流域における持続可能な地下水資源の開発と保全を念頭においた管理計画の策定に努めました。この管理計画は、設定した環境目標にあげられている各指標に関するデータ・情報を得るためのモニタリング計画、このモニタリングで得られたデータ・情報を効率的に処理、解析し、さらにデータベースとして維持管理、活用するための情報技術（IT）を導入したツールである管理情報システム、そしてこれらの計画、システムを実際に運用・管理するために必要な人的資源および組織制度に係る開発計画より構成されています。

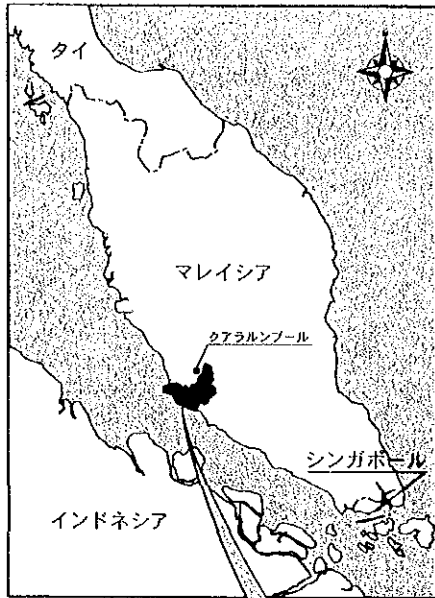
なお、同期間中、貴事業団を始めとして、外務省、およびその他の機関の関係者に多大な協力を賜りましたことについて、この機会を利用して、厚く御礼申し上げます。また、現地調査期間中、マレーシア国政府の鉱物・地球科学局、一次産業省、およびその他関係機関よりいただきました協力と支援について深く感謝いたします。

貴事業団におかれましては、本計画の推進に向けて、本報告書を大いに活用されることを切望する次第です。

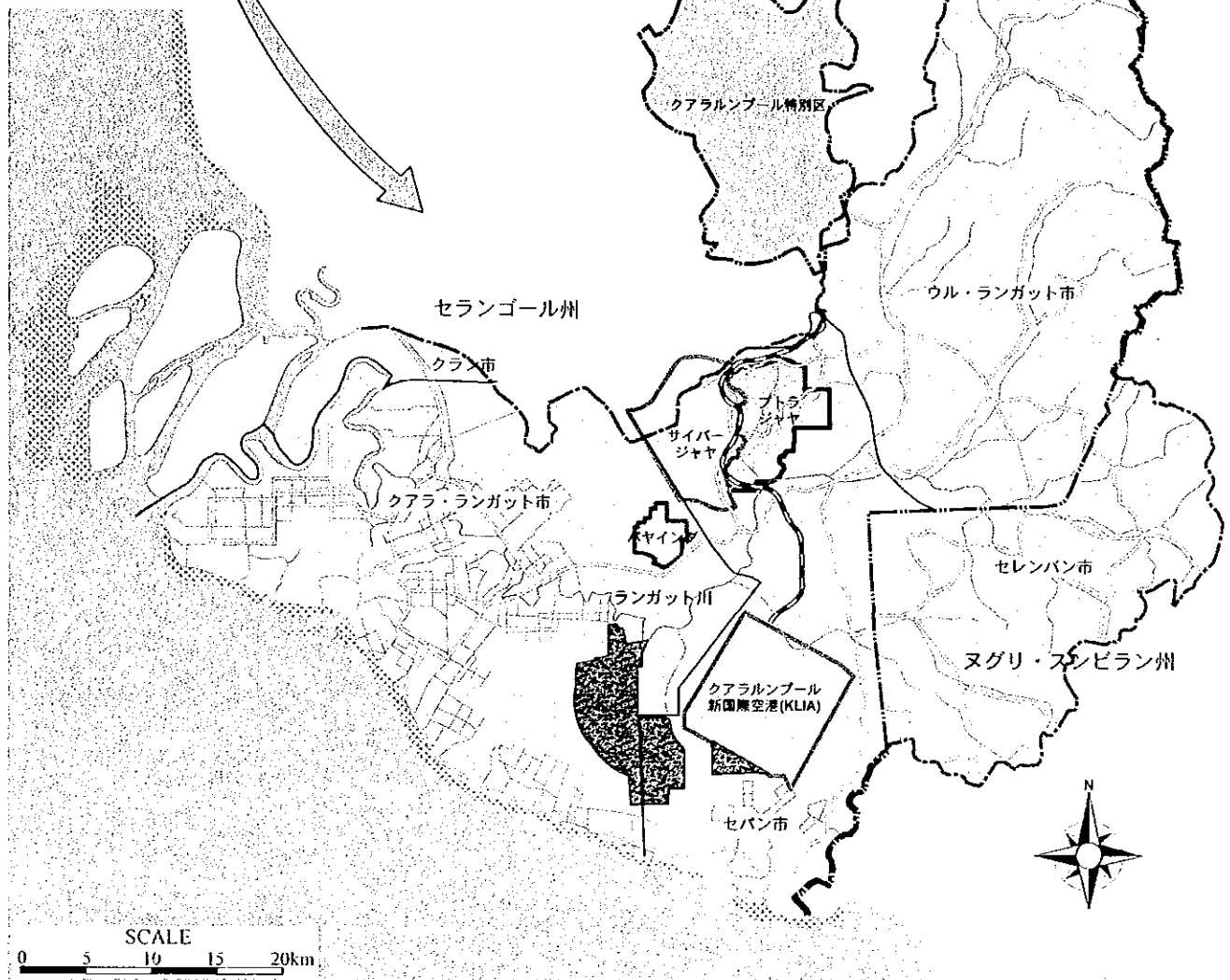
平成14年3月

株式会社 建設技研インターナショナル  
新首都圏地下水資源・環境管理計画調査  
団長 佐々部 圭二





凡 例	
	河 川
	道 路
	鉄 道
	森林保護区
	州(State)境界
	市(District)境界
	ランガット川流域界 (調査対象地域)

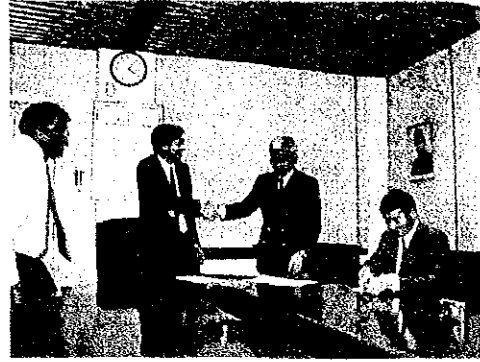


調査位置図





インゼプション・レポートの説明・協議 2000/3/31



インゼプション・レポートにミツ署名 2000/3/31



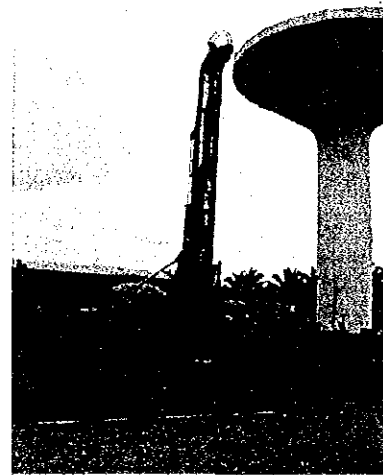
テクニカル・ミーティング（調査団とカンタ・パートナーによる）2000/6/21



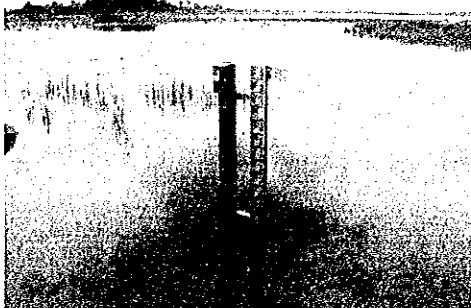
地盤沈下測定のための水準点網整備 2000/8/7



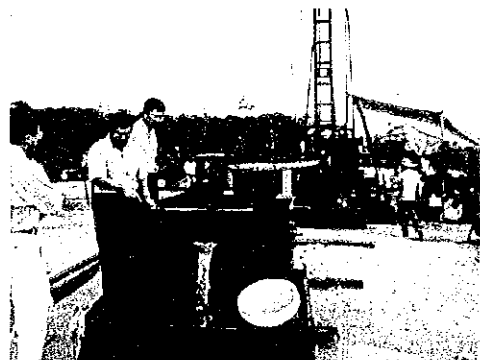
ワークショップ（1）2000/10/14



ガブミ第2井戸場における観測井掘削 2000/10/23



パヤインダに設置した水位計 2000/11/22



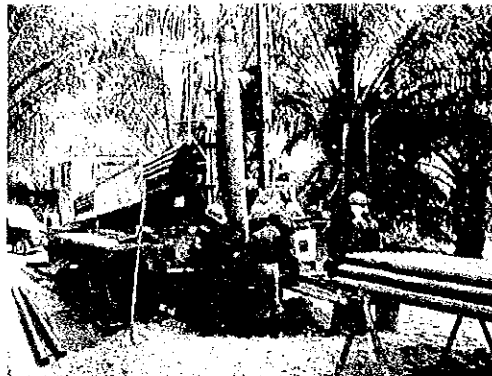
カンチャンダラットにおける揚水試験 2001/2/13

現地調査写真（1）





高速道路沿いにおける観測井掘削 2001/2/13



カチョンダラットにおける観測井掘削 2001/2/13



表流水のサンプリング（プラティン内水路） 2001/2/17



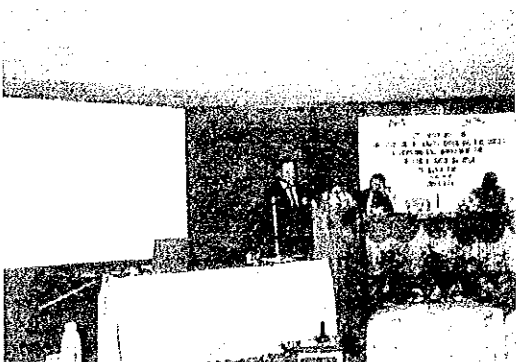
表流水のサンプリング（バヤンダ流入水路） 2001/2/17



既設観測井における地下水位・水質の同時測定 2001/2/23



新設観測井における地下水位・水質の同時測定 2001/3/14

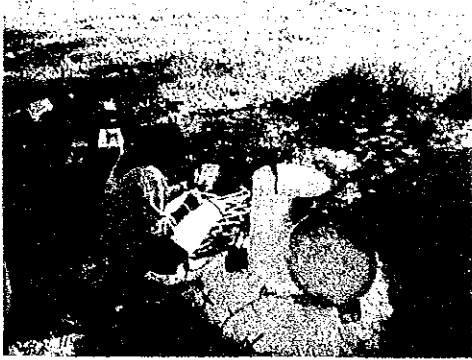


ワークショップ（2） 2001/3/20



プロジェクト・コミティ・ミーティング（インテリム・レポート説明） 2001/8/23

現地調査写真（2）



新設観測井における現場水質測定/サンプリング 2001/8/29



既設観測井における現場水質測定/サンプリング 2001/8/29



テ-カガ-を設置した既設観測井の一部 (3) 2001/8/29



完成した新設観測井の一部 2001/9/13



ワークショップ (3) 2001/9/10



プロジェクト・コミティ・ミーティング (ドラフト・ファイナル・レポート説明) 2002/1/12



技術移転セミナー 2002/1/17



セミナーでのエクシジョンをご覧になるリム  
一次産業省大臣と小西大使  
2002/1/17

現地調査写真 (3)



## 最終報告書の構成

### 英文

- 第1巻 : Executive Summary (要約)
- 第2巻 : Main Report (主報告書)
- 第3巻 : Supporting Report (副報告書)
- 第4巻 : Data Book (データ集)

### 和文

最終報告書 要約



## 要 約

### 1. 調査の背景

マレーシア国セランゴール州では、首都クアラ・ Lumpur および周辺地区の急激かつ超大規模の開発が進行中である。セランゴール州の水不足に対応するため、地下水が代替水源として認識され始め、既に、いくつかの工場ではその水源を表流水から地下水に切り替え始めている。しかしながら、無制限な地下水の利用は、地盤沈下、地下水盆地への海水の浸入、といった深刻な環境問題を生じせしめる危険性を包含している。

ランガット川流域の持続的な地下水利用を実現し、良好な地下水水質環境を維持するためには、均衡がとれ、セクター横断的で統合的な地下水資源・環境管理計画の策定が緊急の要請となっている。

以上の背景に基づくマレーシア国政府の要請に対し、日本政府は国際協力事業団（以下、JICAと略す）を通じて調査団を派遣し、「マレーシア国新首都圏地下水資源・環境管理計画調査（以下、本件調査と略す）」を2000年3月から2002年3月の間で実施した。本件調査は、マレーシア国カウンターパート機関である鉱物・地球科学局他関係機関の協力を得て実施され、その結果、管理計画が策定された。

調査の目的は以下を含む。(i) ランガット川流域に対し、持続的な地下水資源・環境管理計画を策定する、(ii) 管理計画を支援するための、モニタリング・システムおよび地理情報システムを構築する、(iii) 管理計画の実施に必要な人的資源・組織制度改善計画を策定し、もって、管理計画の他流域への適用を図る。

### 2. ランガット川流域の概況

#### 2.1 社会経済状況

第7次マレーシア計画は開発戦略として14の目標を掲げた。このうち、「持続的開発」では、開発過程で、経済、社会、環境面を統合する必要性を強調し、環境を改善し、資源をより有効に利用することにより、次世代の要求、関心、繁栄を犠牲にすることなく生活水準を向上せしめるべきである、としている。第8次マレーシア計画は、開発が持続的であり活力あることを確実にするために政府は早期の予防的対策をとるよう計画し、環境および資源の課題に予防的方針を適用するとしている。これら課題を実現する対策としては、環境面の政策決定のためのデータベースの強化、水資源のより有効な管理を実現するための国家水政策の策定を含む。

マレーシア経済は1980年代および1990年代中頃にかけて、急速に成長した。1980年から1990年の間の平均成長率は年率5.2%に達し、1991年から1996年の間では、毎年9%を越える成長を遂げた。1999年には、1997年の経済危機を克服している。経済分析機関では、ここしばらくは同国が良好な状況を保つと予測している。マレーシア国の人口は1999年時点で22.7百万人と推定されている。

セランゴール州は、その地理的位置および経済的位置付けから、国家目標の2020年に対し15年早く、先進国レベルの開発状況を達成する目標を掲げている。その目標は、セランゴール・ビジョン2005にうたわれている。このビジョン2005に向けた開発戦略は、クラン川流域の外郭部への開発の進展および自然環境の保全と持続的開発を含む。

セランゴール州のGDPは国全体のGDPの2割に達する。そのGDP成長率は、国全体の傾向と同じく、1998年の-1.54%から1999年の+5.2%へと大きな前進を遂げた。GDPの工業、サービスセクターのシェアは1999年でそれぞれ59.0%および38.5%で、農業のそれは2.5%であった。セランゴール州の人口は1998年で約3百万人強で国全体の13.6%に相当する。

ランガット川流域は、セランゴール州のクアラ・ランガット県、スパン県、ウル・ランガット県、およびネグリ・スンビラン州のスレンバン県の西部地区を含む。クアラ・ランガット県の開発には工業セクターが重要な役割を果たすとされ、テロック・パングリマ・ガラン～バンティン～オラック・ルンピット、モリブ～タンジュン・ガバン～タンジュン・トゥンブック、およびプラウ・カレイの三開発回廊が提案されている。マルチメディア・スーパー・コリドー（MSC）はスパン県における最大でかつ唯一の開発計画であると同時に、この県の外のセランゴール州、ひいては国全体に大きな影響を及ぼしている。MSCはウル・ランガット県の土地利用開発形態にも影響を与えている。ニライ市はマンティン、ラブと共にスレンバン県の西部地区に位置し、2020年には州の中心的都市となるべく計画されている。

## 2.2 地形、水系および一般地質

ランガット川およびその左支川スメリエ川は、共に、マレーシア半島の脊梁山脈の西側斜面に水源を発する。両川は山地の水を集めながらほぼ南西に流下したのち、それぞれカンジャン、バンギを過ぎた付近から徐々に西に向きを変える。その後両川は合流し、デンキル付近で低平地に入り西流する。合流後の河川は場所により激しく蛇行を繰り返しながら最後はマラッカ海峡に注ぐ。ランガット川および隣接流域の合計流域面積は約2,750 km<sup>2</sup>である。

ランガット川流域は、地形上大きく上流から下流に向け、山地、丘陵地および低平地の3地区に分けられる。このうち、地下水涵養地区は山地および丘陵地で、地下水盆は低平地に広く分布する。

山地の基盤岩は古シルリア紀ホーソーンダン層の片岩、千枚岩、および二畳紀の花崗岩類により構成される。この花崗岩類は半島の脊梁山脈を構成し、カンボン・チュラス付近の丘陵地まで続く。丘陵地の基盤岩は、カジャン層およびケニー・ヒル層の頁岩、珪岩により構成される。上記貫入花崗岩類も含め、基盤岩の上部は風化している。

下流部低平地では基盤岩上に、第四紀の堆積物が厚く分布する。この第四紀堆積物は、地表から下部へ向けて、表面にピート層を有する0.5～5.5 mのブルアス層、丘陵地から始まり海岸線近くでは40～50 mの厚さを有するグラ層およびクンバダン層の粘土層、その下部はシンパン層の砂礫層で、丘陵地では数メートル、低地では50 mから100 m以上の厚さに及ぶ。このシンパン層の砂礫層が本件調査の対象となった地下水盆である。この地下水盆は地下15～20 mの位置に20 mから100 m以上の厚さで低平地に連続的に分布することから、当地域では地下水は比較的経済的に開発できるものと見られる。

## 2.3 土地利用

地形図、土地利用図は本件調査の各種解析のベースとなるもので、また管理計画実施に利用した。縮尺1:50,000、DXFデータ形式のDSMM (1991/92)電子地形図をJMGが所有していたので、これをARC/INFO形式に変換し、等高線、道路、河川等の関連情報を整理した。

農業局（DOA）が発行した1995年時点、縮尺1:50,000の土地利用図を電子ファイル化し、1998年のランドサットTMイメージ、および1992年と1999年撮影の航空写真をもとに更新

した。ランガット川流域2,750.2 km<sup>2</sup>に対する1995年と1998年の土地被覆比較の結果は、開発地区、プランテーションのそれぞれ255.5 km<sup>2</sup>、31.7 km<sup>2</sup>の増加、オイル・パーム、湿地、ゴム園、草地のそれぞれ102.5、92.7、75.5、36.6 km<sup>2</sup>の減少であった。

## 2.4 気象および水文

ランガット川流域は年2回のモンスーンを受ける。北東モンスーンは11月から3月、南西モンスーンは5月から9月かけて生じる。2回のモンスーンの間、4月および10月にはインター・モンスーン期がある。ランガット川流域の各観測所における年平均降雨量は、ほぼ2,200 mmから2,700 mmの範囲にある。海岸近くから山地に向かい年降雨量は増加する。年間の月別降雨パターンは、全般に3月から4月にかけてと、9月から10月にかけて、月雨量約300 mmの年間2回のピークが顕著である。日平均気温は年平均27°Cで、年間を通じ変化が少なく、相対湿度も年間変化が少なく、年平均82%である。年平均蒸発量は1,500 mmである。

ランガット川流域のランガット川上流域、スメニエ川流域、ランガット中流域合計1,281 km<sup>2</sup>地点で年間水収支を検討した。その結果、同地点では年間降水量2,238 mm、年間蒸発散量1,284 mm、年間流出量846 mmの収支として、平均年間地下水涵養量は108 mmと推定された。この年間地下水涵養量108 mmは年降雨量の4.8%に相当し、1,281 km<sup>2</sup>の流域に対し、総量で139百万m<sup>3</sup>となる。

## 2.5 水需給

ランガット川流域の主な上水供給元はランガットおよびスメニエ浄水場で、この二者でランガット川流域内の上水能力1,003.8 Mldの93%を賄う。地下水の殆どは工業用水利用である。全国水資源調査 (NWRS) は、半島マレーシアのすべての水資源の2050年までの計画、開発、管理を目的に実施された。ランガット川流域内の水需要は確実に増加しつつある。セランゴール州のランガット川流域内三県の将来水需要は、主にランガット浄水場、スメニエ浄水場でまかない、当初予定どおり2007年からパハン南導水事業により補強するとしている。ランガット川流域の水需給計画においては、この2007年に予定されているクラウ・ダム completion が非常に重要である。

クラン川流域は1998年の異常気象による渇水時に激しい水不足に見舞われた。第7次マレーシア計画の中間見直し (1996-2000) は、持続的な地下水開発の必要性を述べている。NWRSが示すように、新規の水資源開発事業が予定どおり実施されれば、ランガット流域においても、工業用水を含め、すべての需要はこれにより賄うことが可能である。しかしながら、現状では政府は地下水開発を規制しておらず、民間企業は経済原則によりより安価な水源を求め、表流水より経済的であれば井戸掘削を行っている。

## 2.6 情報技術 (IT)

国家土地情報システム基盤 (NaLIS) の設立により、1970年代からそれぞれ独自に単独の情報システムを構築してきた土地にかかわる部局が、すべて通信のためのネットワークでつながれたことになる。JMGはNaLISの委員機関の一員で、地質、鉱物、地盤技術情報を担当している。

JMGの五カ年計画には、同局の計画および事業実施能力を高めるためのITの利用が含まれている。同計画では、データ情報戦略については次のように述べられている。情報収集はクライアント・要求ベースとし、局保有のデータ・情報は整理され、効率的に管理されている必要があり、ITを活用したシステムを用いてこれを提供し、広範囲のクライアントの



要求を満足するべきであるとしている。情報管理活動は情報の収集、開発、統合およびデータベースの管理、特にGISを活用し、情報の配布・提供には先進のITシステムを活用する、とある。HIDRODATはJMGが開発した地下水データベースの最新版である。このデータベースにおいてはデータ入力・更新ツールが、Oracleベースのクライアント-サーバー環境で開発済みである。

## 2.7 組織制度面

水に関する連邦政府の管轄権は憲法に規定されている。これによると、水は州の管轄である。地下水管理・規制に関する法律は、未だ単一の包括的法律としては整備されていない。地下水に関する記述はSWMAE、地質調査法（GSA）等に見られる。JMGは地下水に関する技術に責任を持つ局である。局の主な機能は多々ある中で、鉱物および地球資源に関する政策と技術面の提言を連邦政府ならびに州政府に与えることにある。

セラングール州水管理庁（SWMA）は州令で設立された。同規定（SWMAE）は河川流域、水域、地下水・海岸水域、湿地域の管理・保護、および河川集水域ならびに流域の指定地域における水資源の持続的開発を目的とする。セラングール州鉱物・地球科学局は連邦政府局の出先機関である。地下水開発は同局の地球科学ユニットが担当している。

第7次マレーシア計画は、増加傾向をたどる生活用水、工業用水需要を満たすため、ダム建設および地下水開発の必要性を認識している。このため、政府は国家水資源協議会（NWRC）を1998年に設立した。この協議会は国家水政策の策定権限を与えられている。水政策の方向性には「地下水資源開発に機会を与える」ことが含まれている。国家経済復興計画においても、水資源の保全および地下水の持続的利用に対する強い勧告が含まれている。

SWMAは、現在、表流水源取水に対し、1 m<sup>3</sup>当り4セントの課金を検討中である。同様に、地下水および処理済地下水への課金の可能性が考えられている。

## 3. 地下水の現況

### 3.1 地下水水質

本件調査では地下水水質を34の観測井で調査した。地表水水質については10箇所を調査した。パヤインダ地区の表流水では、3.9から4.7と低いpH値が観測された。この地域の地下水はこの強い酸性の表流水の影響を受けてpHが4.5から4.7の値を示しているものと推定される。

鉄総量は殆どの地点で基準値0.3 mg/lを超えた値が観測され、その数値はほぼ、1から10 mg/lである。重金属含有量の当地区の顕著な特徴は大部分が飲料水基準である0.05 mg/l以下であるものの砒素が幅広く検出されていることである。比較的高濃度の砒素は調査地域内では大部分が浅井戸から検出されている。また、4箇所の井戸で5種類の有機化合物化合物が検出された。これらは、m, p, o-の3種類の異性体をもつキシレン、トリメチルベンゼン、ナフタリン、メチルナフタリンである。これらは、一例を除き、3回の観測のうち一度のみで検出されていることから、今後のモニタリングが重要である。

水質区分の結果、当地域の地下水は、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>あるいはNaClタイプ（タイプ IV）と中間タイプ（タイプ V）が多いことが明らかとなった。多かれ少なかれ海水の影響あるいは海成の堆積層の影響を受けていると考えられる。一方、表流水は、10箇所のうち6箇所がCaSO<sub>4</sub>あるい

はCaCl<sub>2</sub>タイプ(タイプ III)に分類された。地表水の水質は周辺の採鉱活動の影響を受けていると考えられる。

地下水汚染の潜在的汚染源としては、ランガット流域にある30の工業団地があげられる。農業関係では主に油ヤシのプランテーションであり、ゴム、養豚・養鶏、魚類の養殖、牧畜、果樹園がこれに続いている。他の潜在的汚染源としては、鉱山、廃棄物埋立て場、下水処理場、ガソリンスタンドのガソリン備蓄タンクがある。

### 3.2 地下水利用状況

ランガット流域内の3県ウル・ランガット、クアラ・ランガット、セパンにある井戸は家庭用、工業用、観測用、試験用、用途不明の5つに分類される。1999年時点の地下水利用状況は2,845 m<sup>3</sup>/時と見積もられる。工業用途では1,385 m<sup>3</sup>/時、家庭用途では1,341 m<sup>3</sup>/時であった。

地下水利用状況調査(ハイドロ・センサス)で調査を行った井戸の総数は121であり、このうち103の井戸がJMGのデータベースに登録されている。農業目的、あるいは商業目的の井戸はごくわずかで、各々全体1%にすぎない。121の井戸のうち、33が稼動中、18が既に使用されていないもので70についてはその状況が不明であった。調査の対象となっている地下水盆の主な井戸群は、クアラ・ランガット県ブルックランド・エステイト内、メガスチール/アムスチールIIの工場内にある(PWM-1, PWM-2, PWM-3, PWM-4, PWS-1, TW-4)。それよりも小さい規模の井戸は同じくブルックランド・エステイト(カジブミ第1, 第4井戸場)、オラック・ルンピット(カジブミ第2井戸場, TU/B)に存在している。また、地下水の自然な流れはイムダ鉱山からの取水の影響を受けていると思われる。

### 3.3 地盤沈下状況

地盤沈下の状況を調べるため、20のベンチマークの標高を第1級水準測量で2000年7月、11月、2001年3月、8月に測定した。20のベンチマークのうち、2回目の測定では15、3回目では11のベンチマークが沈下傾向を示し、4回目では19が沈下した。1回目と4回目の測定結果を比較すると19のベンチマークが設置時に比べ沈下していることがわかった。

BM3, 4, 7, 12, 14, 15, 16, 20の8つのベンチマークは全ての測定時にわたって継続して沈下している。ランガット川の近くに設置されたベンチマークであるBM7, 15, 16は2000年7月から1年間で11~16mmの沈下量を記録している。これらのベンチマークは多量の地下水が揚水されている地区にあり、流域に分布する有機質土層および軟弱粘性土層の圧密沈下によって生じた地盤沈下である可能性がある。

### 3.4 地下水盆の特性

#### 地下水盆の地形境界

地下水盆の北および東の境界は丘陵で囲まれる。西部には花崗岩の丘ブキットジュグラを除き目立った地形的特徴がないために、地下水盆の境界は地質条件によって定める必要がある。地下水盆の南の境界は海によって規定される。

#### 基底岩盤面

想定した基底岩面標高のコンターラインによると、北(クラン川流域)から南へ向かう二つの大きい埋没谷が認められる。ランガット川、ラプ川、および小河川によって形成された東側からの埋没谷の存在も予想される。これらの三つの谷は地下水盆の中央部で合流し

一つの大きい谷を形成して、海岸方向へ向かう。基盤岩上面の深さは海に向かうに従い深くなる。地下水盆北端では埋没谷中央部の標高は-20mから-30mであるが、南端の海岸部では-130mより深い深度にある。

### 地下水盆の地質

対象とする地下水盆の第四紀堆積層および基盤岩は、次の層に分類することができる。すなわち、地表から下部へ、有機質土/有機質粘土層（層1）、粘性土層（層2aおよび2b）、砂質土および礫質土層（層3）、そして基盤岩（層4）である。

有機質土層（層1）はブルアス層に属する地層で、主に有機質土からなり、層厚は1~5mである。軟弱粘性土層（層2a）は明緑灰色から灰色のシルト質粘土より主に構成され、グラ層に相当する。層厚は地下水盆の北部では数mであるが海岸部では20m以上となる。また、西部に向かっても層厚は増加する。中位~硬い粘性土層（層2b）は主に明灰色~灰色の粘性土より構成され、層厚は数mから10m以上に変化する。層2bも概ねグラ層に相当するものと考えられる。

主に砂質土と礫質土よりなる層3も広く地下水盆に分布する。この層はシンパン層の下位メンバーである。層厚は、地下水盆の北部の数mから海岸部の100m以上と大きく変化する。ここでは砂質土/礫質土と一つに分類しているが、層3の特徴は砂質土/礫質土層と粘性土層が交互に堆積し互層状態になっている。

## 3.5 地下水シミュレーションモデル

### モデルグリッド

モデル化した領域は実際の地下水理境界をもとに決定した。モデル領域はマレーシア標準座標系のx座標378,000-418,000 m、y座標285,000-330,000 mの範囲にあり、面積は40×45 kmである。モデル化領域を大きさの異なるグリッドで分割した（70×76 セル）。最も小さいセルの大きさは250×250 mであり、一方、最も大きいサイズは2,000×2,000 mである。地下水盆の地層は7層に分割した。以上よりモデルを構成するセルの総数は37,240となる。

### 滞水層係数

地層毎の滞水層係数は揚水試験結果、土質試験等の結果を基に決定した。

### シミュレーション・モデルの適用

合計9つのシナリオ（バリエーション 0: SV0 からSV8）に基づいて地下水シミュレーションを実施した。SV0はイムダ鉱山のみで 27,028 m<sup>3</sup>/日の揚水をするケースである。SV1は現状のシミュレーションである。カジブミ第1井戸場および第2井戸場は運転せず、メガスチールの井戸は、データをもとに45,654 m<sup>3</sup>/日の揚水を考えた。

SV1では、シミュレートされた等水圧線コンターと地下水流の流線方向によれば、現在さかんに揚水が行われているメガスチール/アムスチールII地区とイムダ鉱山を中心として地下水位が大きく低下していることが分かる。周辺部の地下水流の方向は揚水地区に向かっている。地下水は北西と東方向より供給されている。地下水位は低下の中心部（イムダ鉱山付近）で標高-10mにも達する。

SV2のシミュレーションではSV1の揚水条件に加えて、カジブミ第1井戸場およびカジブミ第2井戸場の井戸からの揚水が始まる。揚水量はSV1の45,000 m<sup>3</sup>/日よりSV2の60,000 m<sup>3</sup>/日

へわずかに増加する。SV3 と SV5では、SV2の揚水量増加に加えてメガスチール/アムスチールII地区で新しい2本の揚水井（1井当たりの増加量は既設井戸PWM-1と同程度を仮定）が追加されることによる増加分で、全体の揚水量が約90,000 m<sup>3</sup>/日となる。

SV2のわずかな揚水量の増加によっても、等水圧線コンターと地下水の流向は大きく変化する。揚水量の増加が大きい場合は（SV5）、シミュレーションによればメガスチールとイムダ錫鉱山周辺での等水圧線コンターは大きく変化する。大きな水位低下の結果、塩水浸入を許す条件となる。

その他のシミュレーションは、渇水年の影響（SV4）、イムダ錫鉱山での取水が減少した場合の影響（SV6、SV7）、流域内工業開発の影響（SV8）、および、汚濁物質移送（SV2(b)）である。シミュレーションは地盤沈下についても実施した。塩水浸入の状況もモデルにより検討した。

シミュレーションの結果、現況の揚水量が殆ど可能揚水量に近いことが判明した。これ以上の取水をすると、塩水進入や地盤沈下の影響が出る可能性がある。

#### 4. 地下水に対する圧力および影響

ランガット川流域の持続的な地下水資源・環境保全に対する圧力は下記のとおりである。

- 対象地下水盆上、ランガット川沿いの工業開発回廊の存在。
- 過去の異常渇水年における地表水源の不安定な水供給。
- テロック・ダトック・オラック・ルンピット地区における工業目的の大規模な地下水取水。イムダ錫鉱山における大規模な地下水汲み上げ。
- 対象地下水盆の地下水質の特徴としての含有鉄分が高いこと（通常1.0から4.0 mg/l、高い場所で10 mg/l。飲料用水基準は0.3 mg/l）。地下水の電気伝導度も全般に高い。

持続的地下水資源・環境保全にかかる顕著な影響は下記のとおりと確認された。

- 砒素は数箇所の観測井で水道基準を上回る数値が検出された。砒素は当該地下水盆で広く検出され、特に浅い位置の井戸に多く見られた。
- 5種類の有機化合物が検出されたが、1例を除き、3回の観測のうち1回のみで検出された。
- 海岸沿い観測井で、10,000 μS/cm以上の電気伝導度が観測された。海岸沿い地区の地下水は飲料水としての利用に適していない。地下水盆への塩水浸入は明確ではなく、将来のモニタリングが重要である。
- 2000年6月から2001年8月の約1年間における顕著な地盤沈下は、BM7地点で16.46 mm、BM15地点で11.10 mm、BM16地点で13.24 mmであった。これらの地点はすべてランガット側沿いで、地下水の大規模消費先であるメガスチール、イムダ錫鉱山の近傍地区である。
- 地下水シミュレーションの結果、パヤインダ湿地における地下水取水の影響は認められなかった。パヤインダ湿地の池は不透水層により覆われていると考えられる。

## 5. 環境目標

前述までのランガット川流域における持続的な地下水資源・環境保全に対する圧力および顕著な影響を踏まえ、持続的地下水資源・環境管理計画の環境目標を下記のとおり設定した。ただし、この環境目標はモニタリングの結果により適宜修正する必要がある。

- 持続的地下水許容揚水量は取水の状況（深い位置での数箇所の大規模取水、あるいは、浅い位置での分散した小規模取水）にもよるが、現時点での大規模需要家による日量45,000 m<sup>3</sup>の取水は持続的許容揚水量に近い。
- 対象地下水からは有機化合物は検出されてはならない。
- 重金属の含有量はマレーシア国飲料水基準を下回るべきである。
- カンチョン・ダラット地区J7-1-4観測井における地下水の電気伝導度は、現時点のレベル2,000-2,500 μS/cmを維持すべきである。
- 当地域の年間地盤沈下量は現在のレベル最大約15mmを維持すべきである。特に、BM7、BM15およびBM16における沈下量に注意を払う必要がある。
- パヤインダ地区における異常な水位低下は避ける必要がある。

## 6. 持続的地下水資源・環境管理計画の策定

上記環境目標を達成するためのランガット川流域における持続的地下水資源・環境管理計画を策定した。この管理計画は、上記環境目標にあげられている各指標に関するデータ・情報を得るためのモニタリング計画、このモニタリングで得られたデータ・情報を効率的に処理、解析し、さらにデータベースとして維持管理、活用するための情報技術（IT）を導入したツールである管理情報システム、そしてこれらの計画、システムを実際に運用・管理するために必要な人的資源および組織制度に係る開発計画より成る。

### 6.1 モニタリング計画

モニタリングの目的は環境目標にあげられた各指標に関するデータ、情報を得ることであり、常時モニタリングと詳細モニタリングを設定した。

常時モニタリングは地下水取水量、地下水位、地下水質、地盤沈下、地表水位を対象に定期的に各々データ・情報を観測し、記録することにより実施する。詳細モニタリングは適宜の実施とする。異常な変化、あるいは基準値を超えた数値が検出された場合は、特定の目的のもと、特定の位置・項目に対し、詳細モニタリングを実施する。詳細モニタリングの方法は、基本的には常時モニタリングと同一でその内容についてはその都度決定する。

### 6.2 管理情報システム（MIS）

提案している管理情報システムは、データ入力・維持、モニタリング、評価、および、年次報告書による外部への情報頒布という基本機能を含んでいる。

MISのユーザーは、JMG職員のみならず地下水管理に関係するSWMA、DOE、DID、マレーシア湿地基金等関連機関の職員ならびに一般大衆を想定し、ユーザーグループ毎に上記の4基本機能へのアクセスレベルを制御することとした。年次報告書機能は、インターネット・ユーザーであれば誰でもアクセス可能とした。

本システムはArcIMSを用いたインターネット・ウェブ・アプリケーションを開発し、地形、テーマ図および他の関連図面類の電子ファイルによるやりとりを可能としたほか、井戸データについてはOracleデータ・ベースに変換しJMGが開発した井戸データベースであるHYDRODATと互換性をとっている。ハード環境としてはArcIMSサーバーを新規導入し、調査で利用したパソコンはArcSDEサーバーおよびデータ処理用として利用した。

### 6.3 人的資源および組織制度開発計画

#### 組織

セラנגール州における地下水に関する政策決定・規制は、地下水開発・管理にかかる中心的な部局であるJMGの支援のもと、LUASが実行する。JMGは、地下水開発・管理の中心的な情報集約機関であるべきである。

地下水汚染はDOEの所管事項であるが、地下水観測井の設置計画に関してはJMGと協議することが必要である。地下水にかかる住民啓発、研究、教育分野ではJMGが主導的立場をとることが必要である。省機能法1969で規定された連邦政府令の機能の中で、JMGの機能に水理地質および地下水開発を規定することが必要である。

#### 人的資源開発

JMG本局の機能は政策、長期計画関連事項で、地下水情報に関する国のセンターである。イポーの技術サービス部は地下水専門家の派遣、研究・開発の実施、水質試験の実施を担当する。この機能を強化するため、JMG本局およびイポー事務所に水理地質ユニットを設立する必要がある。

セラングール州JMGは同州の地下水開発にかかる中心的な技術部局であり、地下水管理のための総合的モニタリングを実施すると共に、地下水開発も担当する。また、LUASに対し、民間事業者への井戸開発認可、およびこれらから提出される技術提案書の評価に対し技術的支援を行う。これを実行するため、水理地質に適当な人材を配置し、地下水開発・管理、両面の機能を持たせるべきである。

#### 制度的開発

提案されている地質調査法の修正版では、JMGは井戸掘削、拡大、深度増加、井戸閉鎖する場合は地質調査局長に作業開始前に報告することとしている。ここでいう井戸は用途によらず日量2,500リットルを超えるものとし、井戸を掘削する者はすべての作業および試験の記録を維持し、写しを指定された書式で地質調査局長に提出しなければならない。この法令によると、JMGは認可権限を持たないことから、計画の認可は関連する州政府機関、例えばLUASから得ることが必要である。しかしながら、州の権限保持者は認可を決定する前に、JMGの局長と協議することが必要である。この事項は修正GSAに含める必要がある。

許可および課金のベースとしての井戸の規定は、本調査ではJMGが提案している「目的の如何を問わず、日量2,500リットルを超える揚水能力を持つもの」が適していると提案する。

## 7. 結論および勧告

ランガット川流域ではセランゴール州の水不足への対応策として地下水利用の重要性が認識されつつある。同流域下流の低平地では第四紀堆積物が厚く分布しており、地形・地質的に地下水は比較的経済的に開発できるものと思われる。しかしながら地下水開発に係る規制がないため、既に流域内での井戸掘削や採鉱に伴う取水により持続的取水可能量に近い日量約45,000m<sup>3</sup>の揚水が行われており、周辺地域の地下水低下を招いていることが地下水のモニタリングおよび地下水モデルを用いたシミュレーション結果で明らかとなった。地下水の水質は現時点では大きな問題となるような汚染は見られないものの、特に鉛・砒素等の重金属や有機化合物に関する今後のモニタリングが重要と結論づけられた。また、環境への影響の大きい塩水進入および地盤沈下、そしてパヤインダ湿地に対するモニタリングも環境目標として設定された。

以上の調査結果から、マレーシア国と一次産業省鉱物・地球科学局はランガット川流域における持続的な地下水資源の開発と保全へむけて、本件調査で提案された管理計画の実施にむけて最善の努力をほらうべきである。そのため、まず中心となる鉱物・地球科学局は当面次の点に重点をおいて早急に行動を開始することが望まれる。

- (1) 定期的でかつ信頼性の高いモニタリングを実施できる組織の構築と予算の確保
- (2) 管理情報システムの着実な運用と維持管理のための組織の構築と予算の確保
- (3) 地下水管理にかかる統一的な基準制定にむけての体制づくり

# マレーシア国新首都圏地下水資源・環境管理計画調査

## 最終報告書 要約

### 目次

	頁
調査位置図 .....	i
現地調査写真 .....	iii
最終報告書の構成 .....	vii
要約 .....	ix
目次 .....	xix
表一覧 .....	xx
図一覧 .....	xxi
第1章 まえがき .....	1
1.1 背景 .....	1
1.2 調査の目的 .....	1
1.3 調査対象地域 .....	2
1.4 調査実施体制 .....	2
1.5 調査工程 .....	2
第2章 ランガット川流域の概況 .....	3
2.1 社会経済 .....	3
2.2 地形、水系および一般地質 .....	5
2.3 土地利用および土地被覆 .....	6
2.4 気象・水文 .....	9
2.5 水需要 .....	11
2.6 情報技術 (IT) .....	12
2.7 組織制度面の現状 .....	13
第3章 地下水の現況 .....	16
3.1 地下水質 .....	16
3.2 地下水利用状況 .....	20
3.3 地盤沈下状況 .....	20
3.4 地下水盆の特性 .....	25



3.5	地下水シミュレーションモデル .....	35
第4章	地下水に対する圧力および影響 .....	61
4.1	顕著な圧力 .....	61
4.2	顕著な影響 .....	61
第5章	環境目標 .....	63
5.1	序 .....	63
5.2	環境目標 .....	63
第6章	持続的地下水資源・環境管理計画の策定 .....	64
6.1	序 .....	64
6.2	モニタリング計画 .....	64
6.3	管理情報システム (MIS) .....	71
6.4	人的資源および組織制度開発計画 .....	77
第7章	結論および勧告 .....	88
7.1	結論 .....	88
7.2	勧告 .....	88

## 表 一 覧

	頁	
表2.3.1	ランガット川流域土地利用 .....	7
表2.3.2	1995年から1998年の土地被覆の変化 .....	9
表3.1.1	地下水・表流水中に検出された有機化合物 .....	17
表3.1.2	地下水・表流水のサンプルの水質区分 .....	18
表3.5.1	砂および礫層の水理定数 (3cおよび3d層) .....	38
表3.5.2	3次元地下水シミュレーションモデルに用いた帯水槽係数 .....	41
表3.5.3	シミュレーションに用いた揚水井とイムダ鉱山での揚水量 .....	43
表3.5.4	シミュレーションから求まるモデルの地下水需給バランス .....	47
表6.2.1	通常モニタリングの作業項目 .....	65

表6.4.1	持続的地下水開発にかかる関連部局の提案される役割.....	77
表6.4.2	提案する人的資源組織制度開発計画の実施工程.....	87

## 図 一 覧

	頁	
図1.5.1	全体調査工程.....	2
図2.1.1	セラゴール州、スレンバン州開発計画図.....	4
図2.2.1	ランガット川流域主要河川および支川.....	5
図2.2.2	ランガット川流域地質図.....	6
図2.3.1	ランガット川流域の土地利用変化（1995年－1998年）.....	8
図2.4.1	ランガット川流域気温・降水量・蒸発量の月変化.....	10
図2.5.1	ランガット川流域水需給計画.....	12
図3.1.1	地下水および表流水中の主イオンに関する パイパーダイアグラム.....	19
図3.3.1	地盤沈下測定位置と沈下測定結果.....	23
図3.4.1	基盤岩面標高のコンターライン.....	27
図3.4.2	地質縦断図（B-B'）.....	28
図3.4.3	地質縦断図（D-D'）.....	29
図3.4.4	地質縦断図（E-E'）.....	30
図3.4.5	滞水層の特性（地下水盆中央部と南部）.....	33
図3.5.1	モデル境界とグリッド.....	39
図3.5.2	地表面 標高コンター.....	40
図3.5.3	シミュレーション結果（バリエント0, 3c層等水圧線コンター）...	44
図3.5.4	シミュレーション結果（バリエント1, 3c層等水圧線コンター）...	45
図3.5.5	シミュレーション結果（バリエント1, 等水圧線コンター モデル縦断図38列43行）.....	46
図3.5.6	シミュレーション結果（バリエント2, 3c層等水圧線コンター）...	48
図3.5.7	シミュレーション結果（バリエント5, 3c層等水圧線コンター）...	49
図3.5.8	シミュレーション結果（バリエント5, 2層の水位低下量）.....	50
図3.5.9	シミュレーション結果（バリエント6, 3c層等水圧線コンター）...	52

図3.5.10 シミュレーション結果 (バリエーション8, 3c層等水位低下量) .....	53
図3.5.11 シミュレーション結果 (バリエーション2(b), 3d層パスライン図) .....	55
図3.5.12 シミュレーション結果 (バリエーション2(c), 汚染物質濃度コンター図) .....	56
図3.5.13 塩水侵入の現況 .....	57
図3.5.14 滞水層内の塩化物濃度分布 .....	59
図6.2.1 地下水位・水質の観測位置図 .....	69
図6.2.2 地盤沈下測定位置図 .....	70
図6.3.1 MODFLOWを用いたモデル・シミュレーション結果の表示例 .....	73
図6.3.2 年次報告書ページの例 .....	74
図6.3.3 ハードウェアおよびソフトウェア概要 .....	76
図6.4.1 ランガット川流域持続的地下水開発・管理のための提案される 組織構造 .....	78
図6.4.2 提案されるJMG本局組織図 .....	82
図6.4.3 提案されるJMGセラシール州局組織図 .....	83

## 第1章

### まえがき

#### 1.1 背景

マレーシア国セランゴール州では、首都クアラ・ Lumpur および周辺地区の急激かつ超大規模の開発が進行中である。この開発は、新しい政治・行政の中心であるプトラジャヤ、マルティメディア産業を誘致した知的都市サイバージャヤ、新国際空港 (KLIA) および関連開発地区を含むマルティメディア・スーパー・コリドー (MSC) 構想を中心として行われている。その結果、水不足、水質汚染といった都市環境の悪化が生じてきている。

セランゴール州の水不足に対応するため、地下水が代替水源として認識され始め、既に、いくつかの工場ではその水源を表流水から地下水に切り替え始めている。しかしながら、無制限な地下水の利用は、地盤沈下、地下水盆への海水の浸入、地下水位の低下による湿地帯の破壊といった深刻な環境問題を生じせしめる危険性を包含している。

これに対しマレーシア国政府は、第7次マレーシア計画を修正し、MSCが位置するランガット川流域の地下水開発および環境保全に高い優先順位をおいた。その方針は第8次マレーシア計画に引き継がれ、同計画は、水保全・管理の枠組みを明確にした国家水政策の策定を要請している。このように、均衡がとれ、セクター横断的で統合的な地下水資源・環境管理計画の策定が緊急の要請となっている。

以上の背景に基づくマレーシア国政府の要請に対し、日本政府は国際協力事業団（以下、JICAと略す）を通じて調査団を派遣し、「マレーシア国新首都圏地下水資源・環境管理計画調査（以下、本件調査と略す）」を実施した。本件調査は、マレーシア国カウンターパート機関である鉱物・地球科学局他関係機関の協力を得て実施され、その結果、管理計画が策定された。

#### 1.2 調査の目的

調査の目的は下記のとおりである。

- (1) ランガット川流域に対し、持続的な地下水資源・環境管理計画（以下、本管理計画と略す）を策定する。
- (2) 管理計画を支援するためのモニタリング・システムおよび地理情報システム (GIS) を構築する。
- (3) 管理計画の実施に必要な人的資源・組織制度改善計画を策定し、もって、管理計画の他流域への適用を図る。
- (4) 調査を通じカウンターパートに技術移転を図る。

### 1.3 調査対象地域

本件調査は、ランガット川流域全域および隣接する南側流域を含む合計2,750.2 km<sup>2</sup>を調査対象地域とした（調査位置図参照）。このうち、地下水モデル対象地区は、ランガット川下流域に位置する低平地である。

同流域は、行政上、セランゴール州クアラ・ランガット県、スパン県、ウル・ランガット県、および、ネグリ・スンビラン州スレンバン県の西部地区に属する。

### 1.4 調査実施体制

JICAが組織した計13名の専門家からなる調査団が本件調査の実施を担当した。また、JICAに対する技術的提言をするための作業監理委員会が組織された。マレーシア側は、一次産業省鉱物・地球科学局がカウンターパート機関となった。鉱物・地球科学局は本件調査への支援、各種課題の審議のためのプロジェクト・コミッティーを組織した。

### 1.5 調査工程

全体調査工程は図 1.5.1に示すとおりである。

項目	2000												2001												2002		
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar		
現地作業		第1次						第2次										第3次								第4次	
国内作業	準備						第1次								第2次				第3次							第4次	
調査フェーズ	フェーズ I						フェーズ II						フェーズ III														
報告書	▲						▲						▲						▲						▲	▲	
ワークショップ / セミナー							★						★					★							★		

凡例: IC/R: イニシエーション・レポート PR/R: プロポーザル・レポート IT/R: インテリム・レポート  
DF/R: ドラフト・ファイナル・レポート F/R: ファイナル・レポート

図 1.5.1 全体調査工程

## 第2章

### ランガット川流域の概況

#### 2.1 社会経済

##### 2.1.1 マレーシア国の状況

第7次マレーシア計画は潜在成長を高め、更なる構造変革を達成し、均衡のとれた開発を実現するための開発戦略として14の目標を掲げた。このうち、「持続的開発」では、開発過程で、経済、社会、環境面を統合する必要性を強調し、環境を改善し、資源をより有効に利用することにより、次世代の要求、関心、繁栄を犠牲にすることなく生活水準を向上せしめるべきである、としている。

第8次マレーシア計画は活力ある持続的成長の達成に焦点をあてている。そのための戦略は、製品の潜在性を高め、製造業・サービス業における構造変革を推進し、農業分野における再活性化を図り、社会経済的安定性を強化するため、これまでの資金投入を中心にした形から知識集約型推進に移された。環境および資源にかかる方針としては、第8次計画は、これらが統合的、全体的に扱われるべき点を強調している。政府は早期の予防的方策を適用し、開発が持続的であり活力あることを確実にするために予防的方針をとるよう計画している。これら課題を実現する方策としては、持続的開発指標を導入することによる環境面の政策決定を目的としたデータベースの強化、水資源のより有効な管理を実現するための国家水政策の策定を含む。

マレーシア経済は1980年代および1990年代中頃にかけて、急速に成長した。1980年から1990年の間の平均成長率は年率5.2%に達し、1991年から1996年の間では、毎年9%を越える成長を遂げた。1999年には、1997年の経済危機を克服している。経済分析機関では、ここしばらくは同国が良好な状況を保つと予測している。マレーシア国の人口は1999年時点で22.7百万人と推定され、年平均増加率は1971年～1980年が2.5%、1981年～1990年が2.7%、1991年～1995年が2.8%、1996年～1999年が2.4%であった。

##### 2.1.2 セランゴール州

セランゴール州はその地理的位置および経済的位置付けから、国家目標の2020年に対し15年早く、先進国レベルの開発状況を達成する目標を掲げている。その目標はセランゴール・ビジョン2005にうたわれている。このビジョン2005に向けた開発戦略は、クラン川流域の外郭部への開発の進展、および自然環境の保全と持続的開発を含む。

セランゴール州のGDPは国全体のGDPの2割に達する。そのGDP成長率は国全体の傾向と同じく、1998年の-1.54%から1999年の+5.2%へと大きな前進を遂げた。GDPの工業、サービスセクターのシェアは1999年でそれぞれ59.0%および38.5%で、農業のそれは2.5%であった。セランゴール州の人口は1998年で約3百万人強で国全体の13.6%に相当する。人口増加率は1997年で3.1%、1998年で3.3%と、国全体の最近の数値2.4%を上回っている。開発計画は図 2.1.1に示すとおりである。

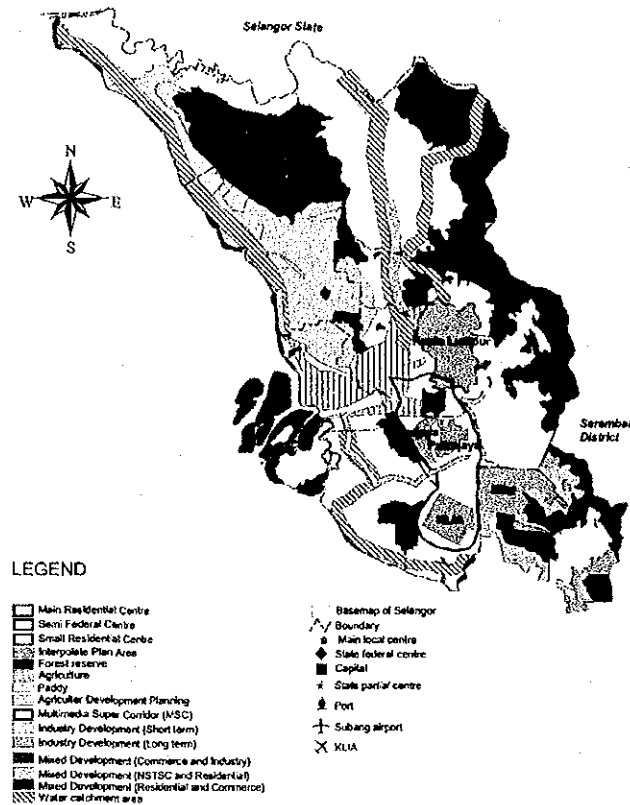


図 2.1.1 セランゴール州、スレバン州開発計画図

出典: Town and Country Planning Department of Selangor State, and Seremban District Council

### 2.1.3 ランガット川流域

ランガット川流域は、セランゴール州のクアラ・ランガット県、スパン県、ウル・ランガット県、および、ネグリ・スンビラン州のスレバン県の西部地区を含む。クアラ・ランガット県の開発には工業セクターが重要な役割を果たすとされ、テロック・パングリマ・ガラン～バンティン～オラック・ルンピット、モリブ～タンジュン・ガバン～タンジュン・トウンブック、およびプラウ・カレイの三開発回廊が提案されている。開発計画は環境保全地区も明確にし、そこでは低密度な開発と開発地区と環境保全地区のバランスをとるための緑地帯機能を強調している。環境保全地区は限られた貴重な自然環境の保全地区、および観光開発の潜在地区を含んでいる。

マルチメディア・スーパー・コリドー（MSC）はスパン県における最大かつ唯一の開発計画であると同時に、この県の外のセランゴール州、ひいては国全体に大きな影響を及ぼしている。ウル・ランガット県の土地利用開発形態はクラン川流域の開発による影響を受けてきたが、これに加え、MSCによる影響も受けている。特に強調すべき点は、ハイテク関係分野の開発、行政機関、研究開発機関、観光開発の進行が顕著である点である。ニライ市はマンティン、ラブと共にスレバン県の西部地区に位置し、2020年には州の中心的都市となるべく計画されている。同市は他産業への支援セクターとして金融、保険、ホテル、通信、IT、運輸等分野の開発潜在力が高いとされている。

## 2.2 地形、水系および一般地質

### 2.2.1 地形

ランガット川流域は、地形上大きく上流から下流に向け、山地、丘陵地および低平地の三地区に分けられる。このうち、地下水涵養地区は山地および丘陵地で、地下水盆は低平地に広く分布する。

### 2.2.2 水系

ランガット川およびその左支川スメニエ川は、共にマレーシア半島の脊梁山脈の西側斜面に水源を発する（図 2.2.1）。

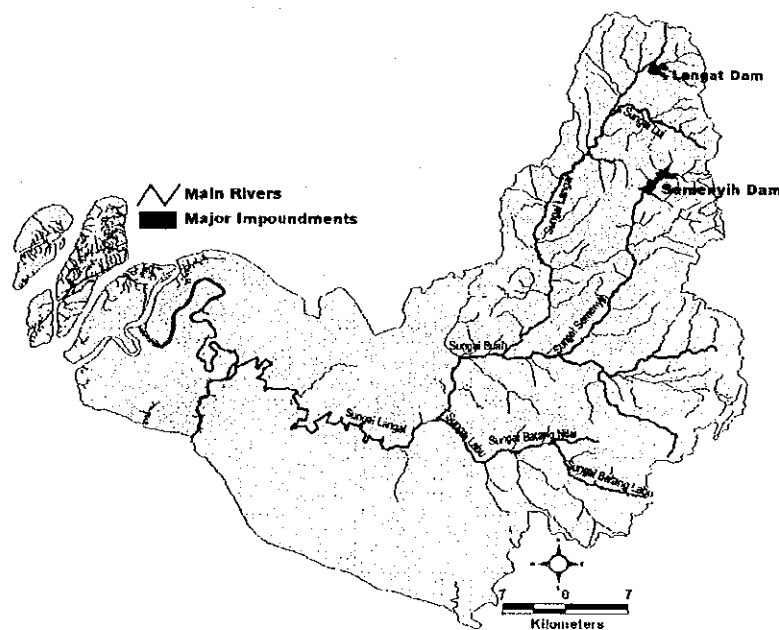


図 2.2.1 ランガット川流域主要河川および支川

出典: LESTARI, 2000.

両川は共に山地域の水を集めながらほぼ南西に流下したのち、それぞれ、カンジャン、パンギを過ぎた付近から徐々に西に向きを変える。その後両川は合流し、デンキル付近で低平地に入り西流する。合流後の河川は場所により激しく蛇行を繰り返しながら最後はマラッカ海峡に注ぐ。ランガット川および隣接流域の合計流域面積は約2,750 km<sup>2</sup>である。

### 2.2.3 一般地質

山地の基盤岩は古シルリア紀ホーソーンゲン層の片岩、千枚岩および二疊紀の花崗岩類により構成される（図 2.2.2）。花崗岩はこの山地上流部に主に分布している。通常、この花崗岩類は5~10m厚の強風化層および5~10m厚の弱風化層に覆われている。

丘陵地の基盤岩は、カジャン層およびケニー・ヒル層の千枚岩、頁岩、珪岩により構成される。低地の地質は、更新世シンパン層および現世グラ層・ブルアス層の未固結な礫、



砂、シルトおよび粘土からなる。それらは、カジャン層の基盤岩の起伏を埋める形で、陸生あるいは海生の堆積作用の結果として生成された。

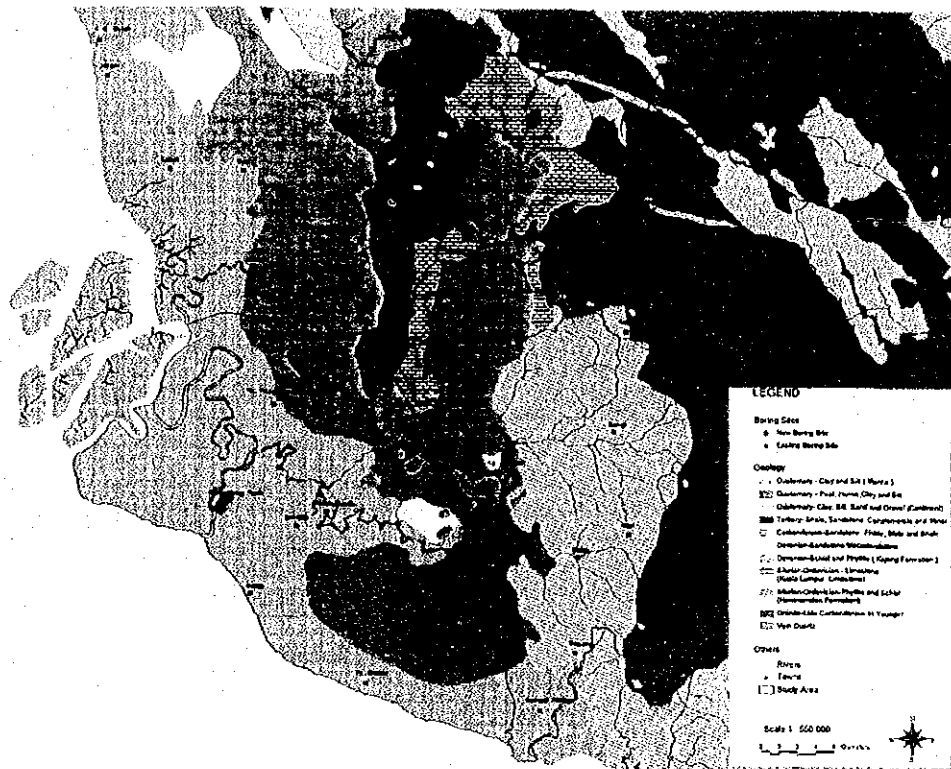


図 2.2.2 ランガット川流域地質図

下流部低平地では基盤岩上に、第四紀の堆積物が厚く分布する。この第四紀堆積物は、地表から下部へ向けて、表面にピート層を有する0.5～5.5 mのブルアス層、丘陵地から始まり海岸線近くでは40～50 mの厚さを有するグラ層およびクンパダン層の粘土層、その下部はシンパン層の砂礫層で、丘陵地では数メートル、低地では50 mから100 m以上の厚さに及ぶ。

このシンパン層の砂礫層が本件調査の対象となった地下水盆である。この地下水盆は地下15～20 mの位置に20mから100m以上の厚さで低平地に連続的に分布することから、当地域では、地下水は比較的経済的に開発できるものと見られる。

## 2.3 土地利用および土地被覆

### 2.3.1 1995年時点の土地利用

農業局 (DOA) が発行した1995年時点、縮尺1:50,000の土地利用図を、ランガット川流域 2,750.2 km<sup>2</sup>について電子ファイル化し、現地調査による検証をもとに編集した。1995年時点の土地利用は表 2.3.1に示すとおりである。

表 2.3.1 ランガット川流域土地利用

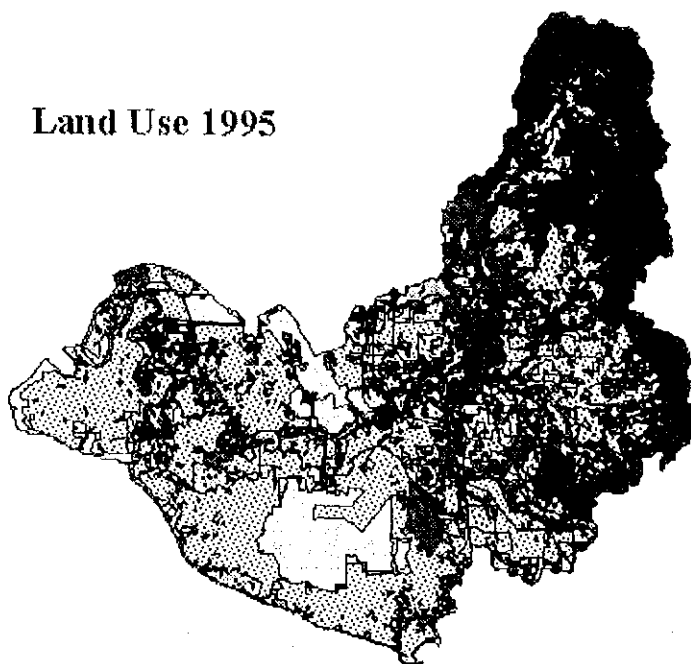
Land Use Class	LUCODE	No. of Lots	Area (km <sup>2</sup> )	Percent (%)
Builtup Areas	1001	530	189.0	6.9
Tin Mining	1002	62	42.4	1.5
Cultivated Land	2001	422	78.6	2.9
Rubber	3001	670	463.9	16.9
Oil Palm	3002	463	929.8	33.8
Coconut	3003	100	39.6	1.4
Other Plantation	3004	329	32.5	1.2
Diversified Crops	4001	96	26.6	1.0
Paddy	4002	24	3.7	0.1
Shifting Cultivation	4003	1	0.1	0.0
Livestock	5001	2	1.1	0.0
Grassland	6001	315	35.3	1.3
Forest	7001	79	478.7	17.4
Shrubs, Bush	7002	173	28.4	1.0
Reclaimed Land	7003	281	32.3	1.2
Swamps	8001	189	275.1	10.0
Unclassified Land	9001	3	1.2	0.0
Water Bodies	9002	140	40.2	1.5
Mixed Use	9999	137	51.7	1.9
<b>TOTAL</b>			<b>2,750.2</b>	<b>100.0</b>

出典: Digitised Land Use Map of DOA published in 1995

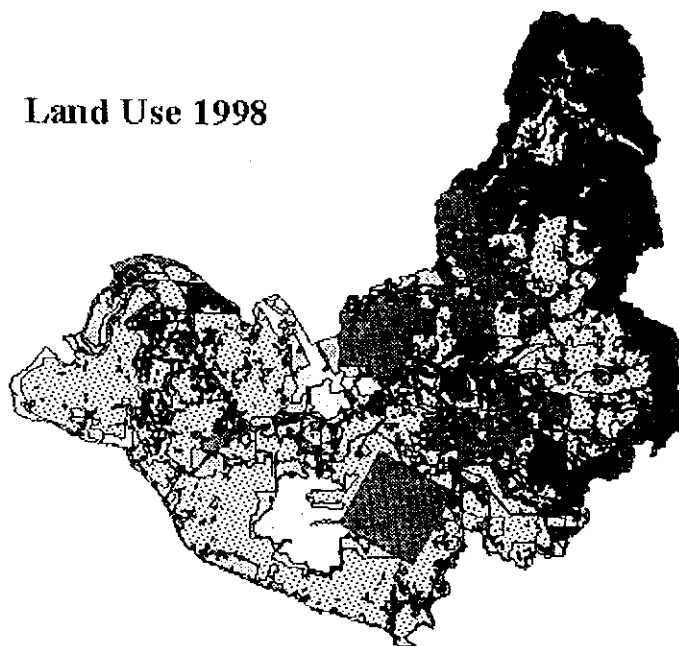
### 2.3.2 1998年時点の更新版土地被覆図

電子ファイル化したDOA土地利用図（1995年時点）を1998年のランドサットTMイメージを用い更新し、土地被覆図を作成した。1995年と1998年の土地被覆比較は図 2.3.1に、変化は表 2.3.2に示すとおりである。










Land Use 1995



Land Use 1998



LEGEND

- |  |  |   |
|--|--|---|
|  Builtup Area |  Oil Palm   |  Forest      |
|  Mining       |  Plantation |  Swamps      |
|  Rubber       |  Grassland  |  Waterbodies |

 Japan International  
Cooperation Agency



Minerals and Geoscience  
Department Malaysia

図 2.3.1

THE STUDY ON THE SUSTAINABLE GROUNDWATER RESOURCES  
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT FOR THE LANGAT BASIN  
IN MALAYSIA

ランガット川流域の土  
地利用変化 (1995年—  
1998年)



 CTI Engineering International Co., Ltd.  OYO CORPORATION

表 2.3.2 1995 年から 1998 年の土地被覆の変化

(Unit: km<sup>2</sup>)

No.	Land Use/Land Cover	1995	1998	Changes
1	Built-up Area	172.2	446.0	255.5
2	Mining	42.4	57.7	15.3
3	Rubber	430.3	350.6	-75.5
4	Oil Palm	929.8	827.3	-102.5
5	Plantation	283.2	300.8	31.7
6	Grassland	69.9	33.3	-36.6
7	Forest	507.1	504.2	-2.9
8	Swamps	275.1	182.4	-92.7
9	Water Bodies	40.2	47.9	7.7
	Total	2,750.2	2,750.2	0.0

## 2.4 気象・水文

### 2.4.1 一般気象

ランガット川流域は、年2回、すなわち北東および南西のモンスーンを受ける。北東モンスーンは11月から3月、南西モンスーンは5月から9月かけて生じる。2回のモンスーンの間、4月および10月にはインター・モンスーン期があり、この時期は風が変化しやすく、午後に雷雨が生じやすい。ランガット川流域は半島マレーシアの西海岸に位置することから、年間を通じて高温多湿で変化が少ない。

ランガット川流域の各観測所における年平均降雨量（1985-90）は、ほぼ、2,200 mmから2,700 mmの範囲にある。図 2.4.1にあるとおり、海岸近くから山地に向かい年降雨量は増加する。年間の月別降雨パターンは位置により若干異なるが、3月から4月にかけてと、9月から10月にかけて、月雨量約300 mmの年間2回のピークが顕著である。乾期における月雨量は約100 mmである。

日平均気温は年平均27°Cで、年間を通じ変化が少なく24°Cから32°Cの間で変化する。4月から5月にかけては比較的高く、11月から12月にかけては比較的低い。相対湿度も年間変化が少なく、年平均82%である。日照時間は2月から3月および6月から7月にかけて比較的長く、年間3.5から6.7時間/日の間で変化する。年平均蒸発量は1,500 mm、月平均125 mmで、2月から3月にかけて大きく、11月から12月にかけて小さい。

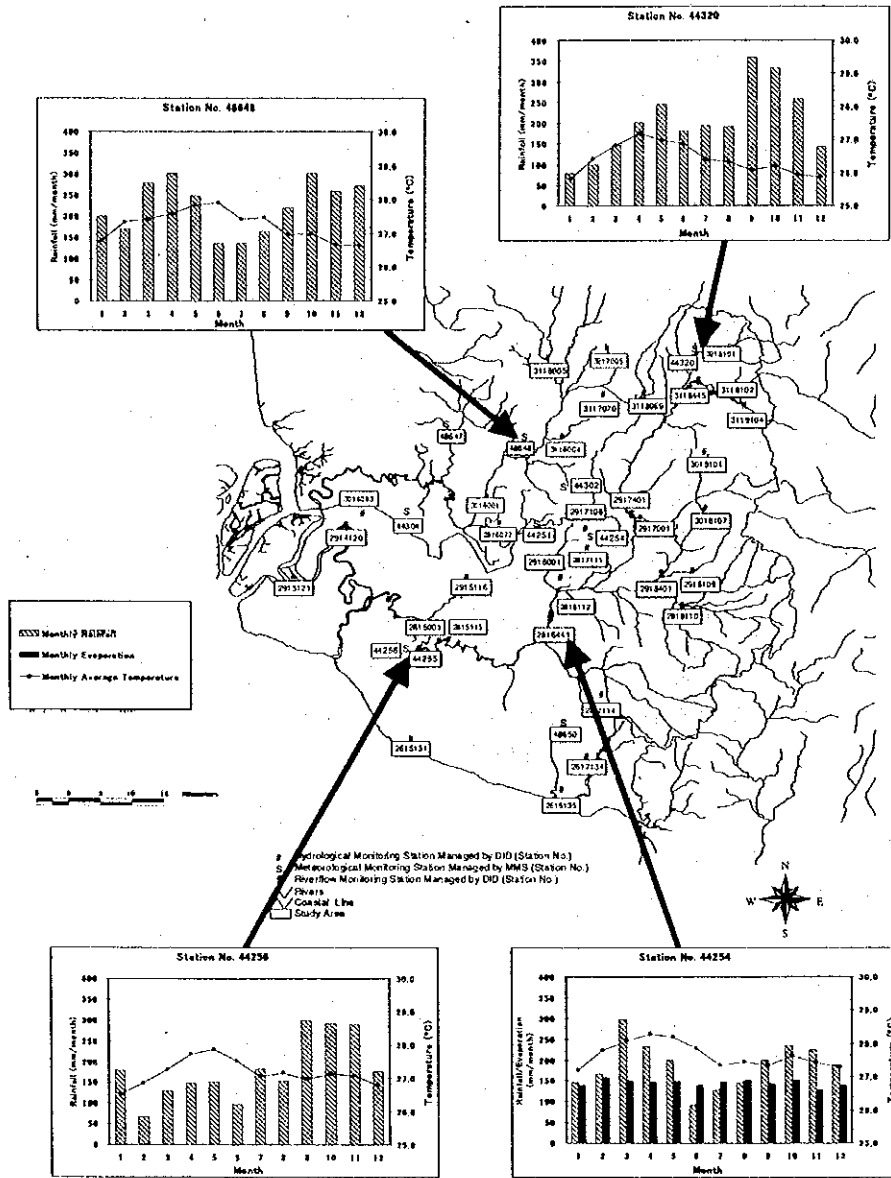


図 2.4.1 ランガット川流域気温・降水量・蒸発量の月変化  
出典: Data provided by Drainage and Irrigation Department (DID) and Malaysian Meteorological Service (MMS)

### 2.4.2 流域の年間水収支

ランガット川流域のランガット川上流域、スメニエ川流域、ランガット中流域合計 1,281 km<sup>2</sup>地点で年間水収支を検討した。

その結果、同地点では年間降水量2,238 mm、年間蒸発散量1,284 mm、年間流出量846 mmの収支として、平均年間地下水涵養量は108 mmと推定された。この年間地下水涵養量108 mmは1,281 km<sup>2</sup>の流域に対し、総量で139百万m<sup>3</sup>となる。

地下水涵養量はタンク・モデルを用いたシミュレーションでも想定し、年平均111.5 mm、142.8百万m<sup>3</sup>、総降雨量の5%と推定された。

## 2.5 水需要

### 2.5.1 全国水資源調査

マレーシア半島における西暦2050年までの水資源計画、開発、管理のための全国水資源調査 (NWRs) が実施された。その調査の中で水需給計画が示されている。

### 2.5.2 セランゴール州

NWRsは需給シナリオに対し、2000年～2050年間の水源施設を提案している。提案されている今後の水源施設としては、スンガイ・セランゴール事業フェーズ3、パハン南導水事業、パハン北導水事業、ブルナム・ダムを含む。シナリオを描くにあたり、NWRsは下記条件を考慮している。

マルチメディア・スーパー・コリドーにおけるインフラ開発により継続的な需要拡大が州南部地区を中心に進行し、このまま進むと、2004年以降には水供給不足が生じることが確実である。したがって、パハン南導水事業に高い優先度を与える。パハン南導水事業によるセランゴール州への導水は、州南部のウル・ランガット県、スパン県、クアラ・ランガット県といった地区の需要に対し、十分以上の供給を可能としている。同事業は、2005年以降に予測されているヌグリ・スンビラン州のスレンバン県、ポート・ディクソン県における不足に対しても水供給を行う予定である。さらに、クラン川流域における水供給不足については、パハン北導水事業により解決される計画である。

### 2.5.3 ランガット川流域

NWRsはランガット川流域の三県における人口が2005年時点で百万人を超え、2035年には2百万人になると予測している。NWRsでは、セランゴール州全体の需給計画検討に必要な同州の需要を推定する過程で、三県の需要を予測している。供給計画検討のため、低成長、計画成長、高成長、三種の需要予測を想定した。低成長シナリオは自然人口増に基づく。計画成長シナリオは人口流入、開発に伴う人口増の結果として、潜在的な高い人口増加を前提としている。高成長シナリオは想定される他の需要に基づくより高い人口増加を考慮した。高成長シナリオの人口増加率は、低成長シナリオのそれを、1991年～2000年で1%ポイント、2020年～2050年で0.4%ポイント上回る。

「パハン－セランゴール導水事業実施設計」は2000年8月にその時点での経済予測をベースに、NWRsにおける需要予測を2000年～2020年について見直した。この見直し後の供給計画では、三県への供給はランガット川流域内のランガット浄水場、スメニエ浄水場、および他の小規模浄水場でまかない、当初予定どおり2007年からパハン南導水事業により補強するとしている。ランガット川流域の水需給計画においては、この2007年に予定されているクラウ・ダムの完成が非常に重要である (図 2.5.1参照)。

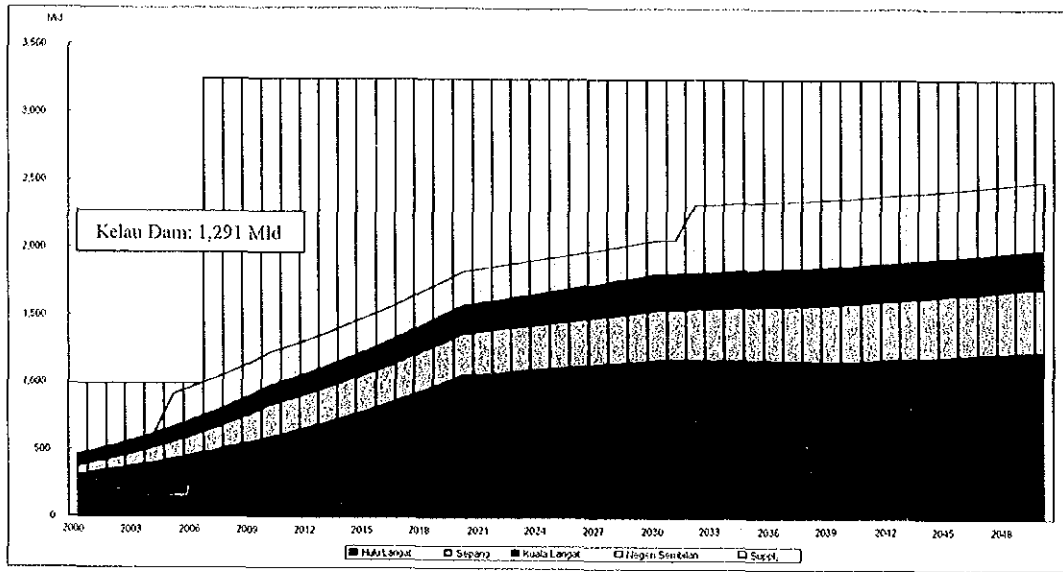


図 2.5.1 ランガット川流域水需給計画

Source: Economic Planning Unit, *National Water Resource Study (Peninsular Malaysia 2000-2050), State Report Volume 12 Selangor*, March 2000, Public Works Department Malaysia and Selangor State Water Supply Department.

Note: NWRS report gives demand figures only in the years of 2000, 2010, 2020, 2030, 2040 and 2050. Those in other years are calculated by interpolation method by the Study Team.

## 2.6 情報技術 (IT)

### 2.6.1 土地情報システム国家インフラ(NaLIS)

NaLISは土地データの作成者およびユーザーで情報を共有する目的で設立された。NaLISの設立により、1970年代からそれぞれ独自に単独の情報システムを構築してきた土地にかかわる部局が、すべて通信のためのネットワークでつながれたことになる。NaLISクリアリングハウス・サーバーは土地開発省の土地情報インフラユニットにおかれた。NaLISクリアリングハウスの運営は、すべての土地関連データ作成者および使用者により構成されるクリアリングハウス技術委員会に委ねられている。JMGは委員機関の一員で、地質、鉱物、地盤技術情報を担当している。

### 2.6.2 JMGのIT戦略

JMGの五カ年計画には、同局の計画および事業実施能力を高めるためのITの利用が含まれている。同計画では、国際的水準のデータおよび情報サービス戦略がうたわれており、そのうえで人的資源、ハード・ソフト環境の状況を分析している。その中で、データ情報戦略については次のように述べられている。情報収集はクライアント・要求ベースとし、局保有のデータ・情報は整理され、効率的に管理されている必要があり、ITを活用したシステムを用いてこれを提供し、広範囲のクライアントの要求を満足するべきであるとしている。情報管理活動は情報の収集、開発、統合およびデータベースの管理、特にGISを活用し、情報の配布・提供には先進のITシステムを活用する、とある。

## 2.6.3 JMGの既存システム

JMGは1994年にGISユニットを本部に設置した。ユニックス版ARC/INFO 7.2.1 (TINモジュール付)、ウィンドウズ版ArcView 3.0a (スペーシャル・アナリスト拡張済) がGISユニットのGIS関連ソフトである。リレーショナル・データベース・ソフトのOracleがユニックス機にインストールされ、dBaseがパソコン環境にインストールされている。システムはJMG-LANに接続されている。NaLISワークステーション2台が、内1台にはArcView 3.2が、もう一台にはArcView IMS (インターネット・マップ・サーバー) がインストールされ、GIS室に置かれている。しかし2001年初頭にはArcView IMSはArcIMSに以降済みである。

水理データベース (HYDAT) および地質データベース (GeoCHEM) がJMGに構築済みである。HYDATは井戸情報、GeoCHEMは試験室の化学分析結果情報からなる。HYDATに対し、これを国家レベルの地下水データベースとすべく改良が加えられ、HIDRODATが構築された。HIDRODATのデータ入力・更新システム (JMGデータベース情報システム、バージョン4.1.3) は、Oracleベースのクライアント・サーバーシステム環境で整備された。JMG本局がこの新規に開発されたHIDRODATを管理することとなっており、州事務所はそれぞれの州のデータを維持することとしている。これら情報は、WELL\_NOでリンクできる構造となっている。将来的にはウェブ環境のオンライン・データベース維持管理システムの導入が考えられている。

## 2.6.4 関連部局のGISおよびITの現状

“Malaysia: the Way Forward (マレーシア前進の道) (Vision 2020: ビジョン2020)”が、西暦2020年までに先進国の仲間入りを果たすとの目標のもと、1991年に宣言された。セランゴール州は、セランゴール州ビジョン2005で国家目標より15年早くその目標を達成するとした。IT戦略は省レベル、局レベル、州レベルそれぞれで強調されている。多くのGIS関連調査が実施され、イントラネット・インターネット・インフラが多くの組織で整備されつつある。

## 2.7 組織制度面の現状

### 2.7.1 地下水開発・管理にかかる法律・基準

マレーシア国には水の開発・管理に関する各種の法律があるが、地下水利用・管理にかかる包括的な法律は未整備である。地下水管理・開発にかかる関連事項は、各種法律に散在して存在する。

水に関する連邦政府の管轄権は憲法に規定されている。一般に、水供給、河川、水路、泥分の制御、河岸の権利等を含む「水」は、いくつかの州にまたがる場合の連邦政府扱い、あるいは州との合意で連邦政府扱いと規定されている場合を除き、州の管轄である。しかしながら、連邦政府は、州政府管轄事項においても、質問・調査・統計に関する事項、調査実施、技術支援の提供、提言の実施、および州部局の調査に関する執行権を有する。州が持つ水の所有権を参照する関連法律は各種存在する。これらは、憲法、水法、国家土地法、鉱業法、セランゴール州水管理庁規定法等を含む。

水資源保全にかかる法律は、土地保全法、森林法、都市および国土計画法、セランゴール州水管理庁規定法、セランゴール州水供給法 (1997) 等を含む。特に、セランゴール州水管理庁規定法 (1999) は水資源保全にかかる多くの事項を含んでいる。



汚染防止にかかる法律は多くの関連法に見られる。汚染防止にかかる基本法は環境質法（1974）である。同法は環境質協議会の設置を規定し、環境局局長に許認可権を与えている。健康省は安全な飲み水のための基準の策定を目的に、1982年に水質調査委員会を設立した。これを受け、国家飲料水調査計画（NDWQSP）が1983年に開始し、飲料水質にかかる年次報告書が作成・出版されている。

地下水管理・規制に関する法律は、未だ単一の包括的法律としては整備されていない。地下水に関する記述はSWMAE、地質調査法（GSA）、提案中の関連法規である、セラングール州水供給法、環境質規定（1987）等に見られる。GSA（1974）には、何人たりとも地下水取水のための井戸掘削をする場合は、JMG局長に報告しなければならない、とある。しかしながら、井戸が基盤岩に到達せず、かつ、307メートルより浅い場合で、取水量が日量500ガロンを超えない場合、かつ、取水した水が生活用水目的にのみ使用される場合は、この規定にかかわらず報告の必要はないとしている。現在はGSAを改定し、下記を加える提案がなされている。

- (1) 何人であれ、井戸を掘削し、拡張し、深度を増し、あるいは閉鎖する場合は、実施前にJMG局長に照会しなければならない。
- (2) ここで、井戸とは使用目的がいかなるものであれ、取水日量2,500リットルを超えるものをいう。この規定はセラングール州水供給法により近いものとなる。
- (3) 井戸を掘削するものはすべての作業および試験記録を維持し、指定書式によりJMG局長にコピーを提出しなければならない。

JMGは同時に、井戸掘削、地下水取水、地下水監視にかかる基準案を作成した。井戸掘削および地下水取水、両方に政府機関の認可を取るための申請を要求している。

## 2.7.2 州レベル組織概要

JMGは地下水に関する技術に責任を持つ局である。局の主な機能は多々ある中で、鉱物および地球資源に関する政策、および技術面の提言を連邦政府および州政府に与えることにある。その他、地質調査の実施、地下水資源の調査・開発、地質・地球科学・水理、土質、鉱物資源に関する地図類を作成することを含む。

鉱物・地球資源局（JMG）は局長が主管し、2名の副局長がこれを補佐する。同局は、サバ州、サラワク州を含む10州に出先局を有する。本局の主要な部は、調整、運用・実施、協力、鉱物経済、技術支援、鉱物調査である。これらの部は、さらに実施ユニットに分けられる。本局、州局およびイポー事務所がこれら機能を果たしている。本局は、政策支援、他局との協調、協力、鉱業経済に責任を持つ。州局は実施機関であり、技術業務および鉱物調査はイポー事務所が実施する。

JMGは合計1,137名の職員を有し、内324名は専門家、管理グループに属している。専門家の殆どは地質、地球物理、地球科学、鉱物の技術者および研究員である。同局は水理地質に関する技術分野も開発している。現在、地下水および水理地質ユニットはイポー事務所にある。

水理地質専門家は現在10名である。この分野は、将来、次の課題が重点になろう。すなわち、地下水資源予測、代替水源として地下水の調査・開発、水理地質データベースの開発、地下水資源賦存図および水理地質図の作成等である。

その他の連邦政府レベルの地下水管理に関係する部局は、経済計画局（EPU）、一次産業省、公共事業局の水供給部門、環境局（DOE）、かんがい排水局（DID）、マレーシア湿地基金（MWF）および水関連協議会である。

### 2.7.3 州レベル組織概要

セラングール州水管理庁（SWMA）は州令で設立された。同規定（SWMAE）は河川流域、水域、地下水・海岸水域、湿地域の管理と保護および河川集水域あるいは流域の指定地域における水資源の持続的開発を目的とする。

セラングール州鉱物・地球科学局は連邦政府局の出先機関である。地下水開発は地球科学ユニットの担当である。最近水危機を経験したクラン川流域における重要性に鑑み、2名の水理地質ポストがある。職員は合計50名、内13名が専門家および管理にかかわる計画がある。

### 2.7.4 地方政府レベルの組織概要

地方行政府は州の権限下にある。地方行政府は、都市排水、下水、都市計画、建築規制等の権限を持つ。地方行政府は開発の前にそれにかかる認可を与える。したがって、地下水に影響を与える可能性がある、住宅開発、工業団地、ガソリンスタンド、土地造成等の行為は、事前に地方行政府の認可を受ける必要があることになる。調査地域の地方行政府は、カジャン市、スパン県庁、クアラ・ランガット県庁、スレンバン県庁、クラン市協議会、およびプトラジャヤが関係する。その他の重要な機関としては、サイバージャヤ、クアラルンプール新空港（KLIA）がある。

### 2.7.5 地下水取水・管理にかかる現況

マレーシア国政府は水資源の持続的開発に向けた政策を展開している。第7次マレーシア計画は、増加傾向をたどる生活用水、工業用水需要を満たすため、ダム建設および地下水開発の必要性を認識している。このため、連邦および州政府の水関連協議会との協調に資するべく、政府は国家水資源協議会（NWRC）を1998年に設立した。この協議会は国家水政策の策定権限を与えられている。水政策の方向性には、「地下水資源開発に機会を与える」ことが含まれている。国家経済復興計画においても、水資源の保全および地下水の持続的利用に対する強い勧告が含まれている。

セラングール州における一般家庭の水道料金は、最初の15 m<sup>3</sup>が42リンギット・セントであった。この料金は2001年4月19日付で最初の20 m<sup>3</sup>が57セントで累進的に、21-35 m<sup>3</sup>が91セント、35 m<sup>3</sup>を超えた場合は1.70リンギット・リングットと値上げされた。州政府はこの料金体系を認可している。セラングール州水管理庁は、現在、水源取水に対し、1 m<sup>3</sup>当り4セントの課金を検討中である。同様に、地下水および処理済地下水への課金の可能性が考えられている。

開発予算は通常事業実施および調査費用を含む。JMGの水理地質事業にかかる開発予算は1999年にはわずか1.37百万リンギットであった。地下水にかかる役割の増加に鑑み、JMGは水理地質事業に対し大幅増加の12.1百万リンギットの予算を第8次マレーシア計画（2001年～2005年）に要求した。

## 第3章

### 地下水の現況

#### 3.1 地下水質

現地調査および水質試験結果より得られた調査対象地域における地下水の水質の現況を以下に述べる。(水質調査のサンプリング地点は図6.2.1に示す。)

##### 3.1.1 pH

pHの値が5以下の地点は主にパヤインダの近くで観測されている。パヤインダの北3kmに位置するクアラ・ランガット北部森林保護区域内にあるS3, S4, S5の3地点の表流水では、3.9から4.7と低いpH値が観測された。この地域の地下水はこの強い酸性の表流水の影響を受けてpHが4.5から4.7の値を示しているものと推定される。

##### 3.1.2 電気伝導度

ランガット川南部および河川沿いでは、500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ を超える高い電気伝導度が観測された。この地域のグラ層、ケンパダン層といった海成堆積物がこの高い電気伝導度の要因である可能性も考えられる。また、ランガット川や海岸線からの塩水の浸入も地下水の電気伝導度に影響を与える。特に沿岸沿いのJ8-1, J8-2, J9-1, J9-2といった井戸では電気伝導度が一万 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上を示し、塩水浸入の影響を受けていることが明らかである。少なくとも海岸線より2km以内は海水が潮上しているものと思われる。

##### 3.1.3 鉄総量

9つを除いた100の全てのサンプルで鉄総量の基準値0.3 mg/lを超えた値が観測された。鉄は黒雲母、輝石、角閃石等多くの主要鉱物の一般的な構成物である。調査地域におけるこれらの鉱物の存在は確認されていないが、2価、3価の鉄イオンの支配的な分布はこの地域の地質化学的な特性によるものと推察される。3回の測定値はばらついているものの、稼動中の鉱山内で採水した表流水S1とS6では、相対的に低い鉄分濃度が観測された。

##### 3.1.4 重金属

水銀、砒素、鉛、クロム、銅、亜鉛の重金属類に関しては、銅と亜鉛については観測した全ての井戸・表流水において、マレーシア国の飲料水水質基準を超える値は検出されなかったものの、水銀とクロムについては基準値より高い濃度が検出された。鉛については、唯一基準値を超えた井戸MWD10で基準値である0.05 mg/lを超えた0.08 mg/lの濃度が観測されたが、全井戸86サンプル中のわずか1サンプルにすぎない。

水銀については、12の井戸(全32井戸の38%)で基準値の0.001 mg/lを超える濃度であった。水銀濃度は流域全般に高いと言える。ペラ州キンタ溪谷の廃鉱内にある池のスライムは水銀やカドミウムといった重金属が高濃度であることが報告されている。また、土中の高濃度の砒素は黄鉄鉱、砒素鉄鉱の分解作用によるものという議論もなされている。一方で水銀、鉛、亜鉛の検出は化学肥料の散布に関係しているという可能性も否定できない。

7つの井戸（22%）で砒素が0.05 mg/lの基準値を超えている。パヤインダのJ2-1-2とJ2-1-3、カジブミ第2井戸場のJ5-2-2、カンチョン・ダラットのJ7-1-2, J7-1-3, J7-1-4、そしてパヤインダ東側のJ10-1-1の計7井戸である。これらの地域はかつて農業用地として使用されていたか、あるいは現在プランテーションとして使用されている土地であり、殺虫剤や除草剤として砒素化合物がかなり以前ではあるが使用されていた。砒酸鉛は果樹園に繁殖する病害虫の駆除に一般的に用いられており、砒酸ナトリウムは種ジャガイモの落葉や水辺の雑草取りに使用されていた。飲料水水質基準値以下のものを含め、調査地域内の広い範囲で砒素は検出されている。高濃度の砒素は調査地域内では大部分が浅井戸から検出されている。これは、砒素が表層より地下水へ浸透した結果であるとも考えられ、自然の土質条件に加え殺虫剤・除草剤の使用が砒素の広範囲な分布に関係している可能性もある。

### 3.1.5 有機化合物

検出された有機化合物を表3.1.1に示す。J7-1-2, J7-1-3, J8-2, J9-1の4つの井戸で5種類の化合物が検出された。これらの有害性、発ガン性、自然界に与える影響を考慮すると、天然に存在する、あるいは人工的に生み出される有機化合物はその検出量がたとえ微量であったとしても飲料水の中に含有されてはならない。

表 3.1.1 地下水・表流水中に検出された有機化合物

有機化合物	No. *2	濃度 (µg/l)			
		J7-1-2	J7-1-3	J8-2	J9-1
m & p-Xylene (メタ、パラキシレン)	1	ND*1	ND	ND	ND
	2	ND	14	ND	ND
	3	ND	ND	ND	ND
o-Xylene (オーキシレン)	1	ND	ND	ND	ND
	2	ND	6	ND	ND
	3	ND	ND	ND	ND
1,2,4-Trimethylbenzene (1,2,4-トリメチルベンゼン)	1	ND	ND	ND	ND
	2	9	11	ND	ND
	3	ND	ND	ND	ND
Napthalene (ナフタリン)	1	ND	ND	ND	ND
	2	3	4	ND	ND
	3	ND	ND	ND	2
2-Methylnapthalene (2-メチルナフタリン)	1	ND	ND	ND	ND
	2	4	5	ND	5
	3	ND	ND	3	4

Note: \*1 "ND" ; 検出されず  
\*2 "No." ; 測定回

3種類の異性体をもつキシレンはガソリン、溶剤、殺虫剤に用いられるほか、ポリエステル樹脂や薬品の製造に使用されている。トリメチルベンゼンは主に溶剤に用いられている。ナフタリン、メチルナフタリンは殺虫剤にも使用される。脂肪族化合物の代表的な構成物である塩基溶剤テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエチレンは調査では検出されなかった。ごく少量の塩基溶剤でも地下水に与える影響は甚大でかつ滞水層の広い範囲に拡散することから、これら化合物の観測を引き続き定期的実施することが必要不可欠である。

### 3.1.6 水質区分

支配的なイオンの構成はいろいろな方法によってグラフ化して表すことができる。図3.1.1にパイパーダイアグラムを示す。このダイアグラムにより調査を行った地下水、表流水のサンプルは表3.1.2に示されるタイプに分類される。

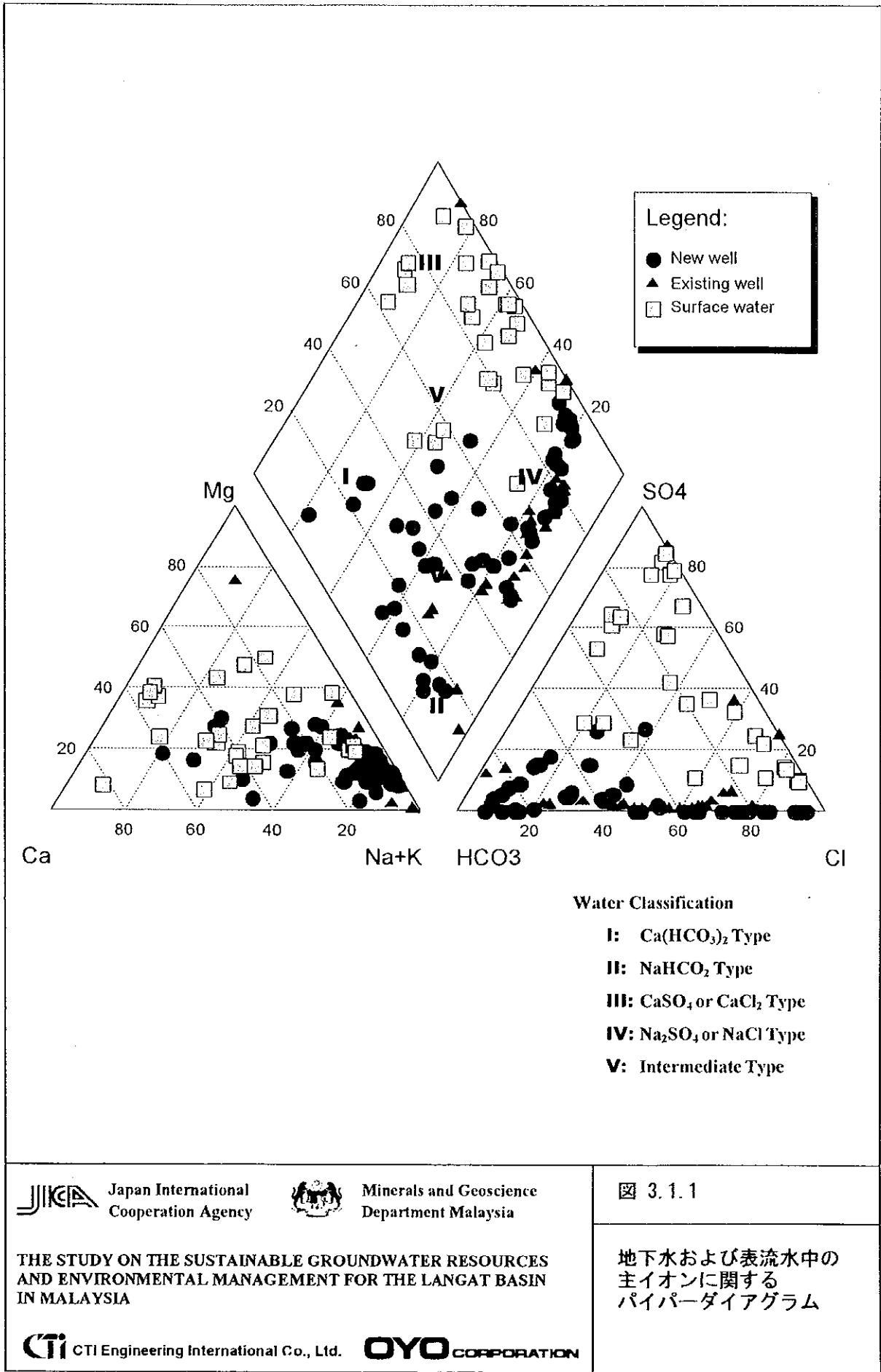
表 3.1.2 地下水、表流水のサンプルの水質区分

タイプ		サンプル名	
		地下水	表流水
I	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 重炭酸カルシウム	J2-1-2, J10-1-1	S9
II	NaHCO <sub>3</sub> 重炭酸ナトリウム	J5-2-2, J7-1-2, LED2, MW14	-
III	CaSO <sub>4</sub> or CaCl <sub>2</sub> 非重炭酸カルシウム	-	S1, S3, S4, S7, S8, S10
IV	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> or NaCl 非重炭酸ナトリウム	J3-1, J3-2, J5-2-3, J7-2, J8-1, J8-2, J9-1, J9-2, MWD1, MWD2, MWD5, MWD6, MWD7, MWD8, MWD9, MWD10	S2, S5, S6
V	Intermediate 中間	J1-1-1, J1-1-2, J2-1-3, J7- 1-3, J7-1-4, J10-1-2 MWD4, MW1	-

表流水ではCaSO<sub>4</sub>あるいはCaCl<sub>2</sub>タイプ(タイプ III)が10ヶ所の調査地点中6ヶ所であるのに対し、地下水ではNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>あるいはNaClタイプ(タイプ IV)と中間タイプ(タイプ V)が多く、調査した井戸の80%を占めている。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> あるいはNaCl タイプの地下水は海水を含んでいる場合が多いので、通常海岸沿いの地域の井戸に見られる。海岸線からそれぞれ2km、500mに位置するJ8-1&2およびJ9-1&2とJMGのモニタリング井戸であるMWD1, MWD2, MWD5, MWD6, MWD7, MWD8, MWD9, MWD10は多かれ少なかれ海水の影響を受けている可能性がある。

一方、CaSO<sub>4</sub>あるいはCaCl<sub>2</sub>タイプ(タイプ III)は表流水にしる地下水にしる特異と言える。このタイプは温泉水や鉱泉または工業排水が混入した結果によることが一般的である。S1, S3, S4, S5の表流水は周辺の鉱山の影響を受けていることが考えられる。

日本で見られる地下水の大部分は概してCa(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>タイプ(タイプ I)に分類されるが、本調査における測定ではこのタイプに属する井戸はわずか2つにすぎない。石灰岩の分布する地域の地下水がこのタイプであることが多い。NaHCO<sub>3</sub>タイプ(タイプ II)の地下水は典型的に流れの少ない状態の地下水に多く、その結果比較的深井戸から採取された水にしばしば見られる。本調査ではJ5-2-2, MW14, J7-1-2, LED2の4井戸がこのタイプに属するが、この傾向とは逆にこれらの井戸は深さ10~18 mの砂層を対象とした浅井戸である。この原因を明らかにするためにはさらなる調査が必要である。



JICA Japan International Cooperation Agency



Minerals and Geoscience Department Malaysia

THE STUDY ON THE SUSTAINABLE GROUNDWATER RESOURCES AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT FOR THE LANGAT BASIN IN MALAYSIA

CTI CTI Engineering International Co., Ltd.

OYO CORPORATION

図 3.1.1

地下水および表流水中の主イオンに関するパイパーダイアグラム

### 3.1.7 潜在的汚染源

ランガット流域には30の工業団地がある。電気・電子産業が多く、工業製品、家具、繊維・織物、建設資材、薬品の製造業がこれに続いている。農業は主に油ヤシのプランテーションであり、ゴム、養豚・養鶏、魚類の養殖、牧畜、果樹園がこれに続いている。雑草やねずみ、その他の害虫の発生を抑えるため、いろいろな種類の殺虫剤・除草剤が用いられている。グリホサート・イソプロピレンから成る除草剤が農業では主に用いられている。ヤシ油産業で使用されている肥料はGutrie Natural Fertiliser、ホウ酸塩、窒素酸化物、リン灰土 (C.I.R.P) 等である。他の潜在的汚染源としては、鉱山、廃棄物埋立て場、下水処理場、ガソリン備蓄タンクがある。

### 3.2 地下水利用状況

工業用水としての最大の地下水汲み上げは、クアラ・ランガット県にあるブルックランドエステイトのメガスチール/アムスチール工場のものである。このサイトにおける地下水貯存量は明らかになっており、工場がフル稼働の時、40 Mldの地下水が供給される。この工場では準被圧の沖積滞水層に50 mの深度をもつ13の井戸をもっている。

ランガット流域内の3県ウル・ランガット、クアラ・ランガット、セパンにある井戸は家庭用、工業用、観測用、試験用、用途不明の5つに分類される。1999年時点の地下水利用状況は2,845 m<sup>3</sup>/時(24時間ポンプ稼働を基準にすると68.3 Mld)と見積もられる。工業用途では1,385 m<sup>3</sup>/時(33.2 Mld)、家庭用途では1,341 m<sup>3</sup>/時(32.2 Mld)使用されている。

地下水利用状況調査 (ハイドロ・センサス) で調査を行った井戸の総数は121であり、このうち103の井戸がJMGのデータベースに登録されている。18の井戸が新たにこの調査で明らかになった。約17%の井戸が工業用途として、冷却や洗浄用水を供給している。農業目的、あるいは商業目的の井戸はごくわずかで、各々全体1%にすぎない。残りの81%は家庭用の使用である。121の井戸のうち、33が稼働中、18が既に使用されていないもので70についてはその状況が不明であった。

調査の対象となっている地下水流域の主な井戸群はメガスチール/アムスチールIIの工場内にある (PWM-1, PWM-2, PWM-3, PWM-4, PWS-1, TW-4) 。それよりも小さい規模の井戸はブルックランド・エステイト(カジブミ第1および第4井戸場)、オラック・ルンピット(カジブミ第2井戸場, TU/B)に存在している。また、地下水の自然な流れはイムダ鉱山からの取水に影響を受けていると思われる。

### 3.3 地盤沈下状況

地盤沈下の状況を調べるため、20のベンチマーク (図3.3.1) の標高を第1級水準測量で2000年7月、11月、2001年3月、8月に測定した。加えて、シルト層の層厚変化をカジブミ第2井戸場に設置したエクステンソメータによって測定した。

20のベンチマークのうち、2回目の測定では15、3回目では11のベンチマークが沈下傾向を示し、4回目では19が沈下した。1回目と4回目の測定結果を比較すると19のベンチマークが設置時に比べると沈下していることがわかった。

BM3, 4, 7, 12, 14, 15, 16, 20の8つのベンチマークは全ての測定時にわたって継続して沈下している。ランガット川の近くに設置されたBM7, 15, 16といったベンチマークは2000年7月

から11～16mmの沈下量を記録している。バンティン南西のBM14では約2mmと少ない沈下であるが、パヤインダ北部のBM3とBM4、高速道路沿いのBM12では7～11 mmの沈下である。特にBM20は15ヶ月間で42mmもの沈下を生じており、測定しているベンチマークの中で最大の沈下量を示しているが、これは近くの建物と埋め戻しによる影響と考えられる。

BM1, 2, 5, 6, 8, 10, 11の7つのベンチマークは第1回、第2回の測定で隆起し最終的に沈下するという同様の傾向を示す。中でもバンティン病院の裏手に設置されたBM10は測定した中で最大の7 mmの隆起を記録した。しかしながら、0.15mmという測定誤差を考慮しても、設置してから継続して隆起しているベンチマークはなかった。本来地盤は隆起と沈下を繰り返しているものであるが、このような短期間での計測から、ランガット流域の低地部では概して隆起よりも沈下傾向にあると言える。これらのベンチマークは多量の地下水が揚水されている地区にあり、流域に分布する有機質土層および軟弱粘性土層の圧密沈下によって地盤沈下が生じた可能性がある。



図 3.3.1

地盤沈下測定位置と沈下測定結果

LEGEND

- ★ Borehole Extensometer
- ▲ Bench Mark
- Deep Datum
- Well Field and Dewatering Sites

- Forest Reserve
- ▨ Inland Forest
  - ▩ Mangrove Forest
  - ▧ Swamp Forest

- Highway
- Roads
- Railways
- Rivers

- Towns
- Builtup Area
- ▨ Paya Indah
- Study Area

Scale 1 : 200,000  
 1 0 1 2 3 Kilometers



**JICA**  
 Japan International  
 Cooperation Agency

Minerals and Geoscience  
 Department Malaysia

THE STUDY ON THE SUSTAINABLE  
 GROUNDWATER RESOURCES AND  
 ENVIRONMENTAL MANAGEMENT  
 FOR THE LANGAT BASIN  
 IN MALAYSIA

**CTI** CTI Engineering International Co., Ltd.  
**OYO** CORPORATION

