

フィリピン国
マニラ首都圏地下水開発計画調査
概要報告書

平成4年6月

国際協力事業団

社調二

CR(3)

92-056

JICA LIBRARY



1098533(1)

23861

フィリピン国
マニラ首都圏地下水開発計画調査
概要報告書

平成4年6月

国際協力事業団

国際協力事業団

23861

序文

日本国政府は、フィリピン国の要請にもとずき、同国マニラ首都圏地下水開発計画にかかる開発調査を行なうことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、1990年8月より12月、1991年1月より3月、同年5月より12月及び1992年3月に日本上下水道設計株式会社の林 亨氏を団長とし、同社及び国際航業株式会社から構成される調査団を現地に派遣した。

調査団は、フィリピン国政府関係者と協議を行なうとともに、プロジェクトサイト調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、ひいては両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

終わりに、本調査にご協力とご支援を頂いた両国の関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

1992年6月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介

マニラ首都圏地下水開発計画調査団
伝達状

平成4年6月

国際協力事業団
総裁 柳谷 謙介 殿

フィリピン国マニラ首都圏地下水開発計画の最終報告書を提出致します。本報告書は、平成2年8月16日、平成3年5月25日及び平成4年5月15日の3回にわたる国際協力事業団とフィリピン国マニラ首都圏地下水開発計画調査共同企業体（構成員：日本上下水道設計株式会社、国際航業株式会社）の間で締結された契約に基づいて結成された調査団によって作成されました。

調査団は、合計5回の水文地質調査・ボーリング調査を含む現地調査を実施しました。本報告書には現地調査の結果を整理解析して策定したマニラ首都圏の地下水開発計画の検討結果が述べられています。

報告書は、概要報告書、主報告書、付属報告書及び資料集の4分冊で構成されております。概要報告書は、調査全体を簡潔にまとめ、主報告書には、調査の背景、マニラ首都圏の水文地質、地下水資源評価、地下水の開発計画ならびに保全管理に関する提言を記述しております。付属報告書には、地下水調査、ボーリング、コンピュータモデル、都市開発、水供給システム及び水需要の詳細が、また、資料集には、電気探査等の試験記録、井戸台帳、水質分析、コンピュータアウトプットが収録されています。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に渡り多大なご支援を賜った貴事業団、外務省、在マニラ日本大使館の諸賢ならびにマニラ首都圏上下水道公社（MWS S）をはじめとするフィリピン政府の関係各位に対し、心から感謝の意を表すると共に、本調査の成果がフィリピン国の社会開発及び経済発展に寄与することを希望する次第であります。

調査団長 林 亨

目次

序文

伝達状

1. 序論	1
2. 社会経済と水供給	8
3. 地下水	23
4. 地下水データベース	52
5. 井戸リハビリテーション	53
6. 都市開発計画と将来の水需要	58
7. 地下水資源の評価	83
8. 地下水開発計画	101
9. 地下水管理計画	124
10. 結論と提言	138

1. 序論

1. 1 調査の背景

フィリピン共和国のマニラ首都圏は、ルソン島の南部、南シナ海に面したマニラ湾沿いの沖積低地とその背後の丘陵地に立地している。マニラ首都圏はフィリピンの総人口の約15%に達する917万人余りの人口（リサール県とキャビテ県の一部を含む）を抱え、近年の急激な発展にともない、水、ゴミ、下水、道路、など都市問題が深刻化しつつある。

マニラ首都圏の水道はMWS S（マニラ首都圏上下水道公社）が管轄している。その水源の大半は首都圏中心から約40Km北東にはなれたブラカン県アンガット川からの表流水に依存しているが、急激な水需要の増大に整備が追いつかず、加えて施設の老朽化と漏水などもあって、水不足は深刻化の度合を一段と深めている。

一方地下水は湧泉浅井戸深井戸により古くから取水され、マニラ首都圏の重要な水源をなしている。首都圏水道のCDS（CENTRAL DISTRIBUTION SYSTEM）配管の及ばない地域では深井戸を水源とする給水が行なわれているが、地下水は安価で取水も容易に行えることから、首都圏全体では深井戸約3,000本、浅井戸20,000本が開発されているものと推定され、工業用水、建築物用水、生活用水に利用されている。

地下水の無秩序な開発により、1970年代末からマニラ首都圏では広い範囲で地下水位低下が起きるようになった。これにともない、マニラ湾からの海水あるいは化石塩水の侵入による地下水の塩水化現象が次第に拡大してきた。地下水の塩水化により、井戸が使用出来なくなるとそれらは廃棄され、淡水を求めて新たな深井戸がより深い深度に掘削されるようになった。このような無秩序な井戸掘削は結果的に新たな塩水化を呼び起こすと云う悪循環を招いた。マニラ首都圏水道の深井戸も、この影響を受け給水事業に重大な支障をきたしている。

こうした事態に対処するため、フィリピン国政府は各種の給水プロジェクトを計画しているが、都市化にともなう水需要の増大に対処するには不十分である。このような背景からフィリピン国政府は、地下水資源を表流水の補完的役割りではなく、恒久的な水資源として位置づけ、環境保護を含めた地下水の有効利用と保全をはかるべく、地下水開発計画調査協力を1989年6月日本国政府に要請してきた。

この要請に基づき、1990年8月に本格調査団が派遣され、1992年3月までの19カ月間調査を実施した。

1. 2 調査目的及び対象地域

(1) 調査目的

本調査の目的は下記の4点である。

1) MWSS管理井のリハビリテーション計画

MWSSが管理している深井戸の揚水量低下の原因を探り、効果的な回復の方策を検討して揚水量の増強をはかるためのリハビリテーション計画を策定する。

2) アンチポロにおける地下水開発計画

マニラ首都圏CDS配管網の計画外にあり、近年の都市化が著しく、人口が急増しているアンチポロ地区について、地下水流動機構を詳細に把握し、持続的な地下水開発計画を策定する。

3) 地下水塩水化機構の解明

マニラ首都圏の中でも地下水を主要な水源としているラスピニャス・パラニャケ地区において、塩水化機構を解明し、その対策を検討する。

4) 首都圏地下水モニタリング計画

マニラ首都圏地下水盆の地下水流動機構を明らかにし、地下水の開発利用及び保全にかかる基本方針を策定し、地下水モニタリング計画を作成する。

(2) 調査対象地域

本調査の対象地域は、MSA (MWSS Service Area) の5市32自治体 (総面積1,780Km²) である (図1.1)。

マニラ首都圏: 4市13自治体

マニラ市、バサイ市、ケソン市、カローカン市、ラスピニャス、マカテイ、マラボン、マ
ンダルヨン、マリキナ、モンテンルバ、ナボタス、パラニャケ、バシグ、パテロス、サン

フアン、タギグ、バレンスエラ

キャビテ県 : 1市5自治体

キャビテ市、バコール、イムス、カウイット、ノベルタ、ロサリオ

リサール県 : 14自治体(内、9自治体はBP799号によりMSAに統合)

アンチポロ、サンマテオ、タイタイ、カインタ、モンタルバン

BP799;

アンゴノ、バラス、ピナゴナン、カルドナ、ハラハラ、モロン、ピリラ、タナイ、テレサ

1.3 調査実施体制

フィリピン国政府側の調査実施機関は、マニラ首都圏上下水道公社(MWSS)が担当し、日本国政府の技術協力の機関として、国際協力事業団がその任に当たった。調査は1990年8月から1992年3月までの期間に行なわれた。調査団及びフィリピン国政府関係者は以下の通りである。

(1) 調査団

林 亨	(総括)
鎌田 烈	(副総括/水文地質)
喜納政治	(都市開発計画)
大森正一	(地質)
柴崎直明	(地下水/塩水侵入)
高柳建二	(地下水開発)
広山和臣	(水質分析)
レイナルド・リアル・メデイナ	(水文・水理)
堤 光雄	(ボーリング計画・塩水侵入)
鮎澤 優	(ボーリング計画・アンチポロ)
末松格次	(リハビリテーション)
木口孝文	(水道施設設計)

(2) フィリピン国・MWS S

Rolando E. ROCA

計画部長 (総括)

MWSSマニラ地下水開発計画プロジェクトチーム

Victor J. BALAGTAS

プロジェクトマネージャー

Ernesto V. ALCANTARA

副プロジェクトマネージャー

Renee A. PINGOL

都市開発計画

Norma M. SANTIAGO

水文地質

Godfredo C. CARPIO

水文地質

Richard G. BURCE

水文

Romeo S. MANLAPIG

水道計画

Rogelio G. OTIVAR

水文

Enrico A. RUIDERA

水質

Rodolfo M. NOVEDA

リハビリテーション

Rodolfo B. VICENTE

リハビリテーション

Oliver B. PADRON

水文

Noel B. ZACARIAS

水文

Daisy C. ARANAN

データベース

Julie F. VELADO

データベース

Ramon N. MENDOZA

調査助手

Lorenzo A. DUMANDAN

調査助手

Judith S. CADAPAN

製図

Gemmalyn S. SANTOS

庶務

Olivia M. SANTIA

庶務

1. 4 調査概要と手順

調査は、1990年8月中旬から1992年3月末までの18カ月間を3段階に分けて行なった。

第一段階 基礎調査

MWSSの水道計画全体を把握し、その中での地下水給水事業の現状と将来の位置づけを明確にするとともに、既往地下水調査のレビューにより調査全体の方向つけを行なった。

この段階では、関連資料の収集・整理、既往地下水調査のレビュー、井戸台帳作成、地表地質踏査、地元さく井業者実態調査、地下水利用実態調査、一斉測水調査、電気探査、組織・運営体制、既存水道システム、都市開発計画のレビュー等の基礎的な調査を行なった。

第二段階 詳細調査

MWSS井戸施設外観調査、ボーリング、揚水試験、地下水位・塩分濃度観測、既存井揚水試験、水質分析、地下水利用実態調査などの詳細な調査を実施した。

第三段階 解析・計画策定

この段階では、全段階までの調査資料に基づき、塩水化機構を解析するとともに、コンピューターシミュレーションを行なって地下水資源を評価し、マニラ首都圏地下水盆の開発保全計画を策定した。また、MWSS管理井のリハビリテーション試験施工を行い計画を策定した。

調査手順はフローチャート（図 1. 2）に示される。

1. 5 報告書の作成

報告書は概要報告書、主報告書、付属報告書1、2及び資料集の5分冊より構成されている。

概要報告書には調査結果全体の概要が述べられている。主報告書にはマニラ首都圏地下水盆の帯水層分布、地下水利用、地下水位、地下水質及びMWSSの深井戸のリハビリテーションについての調査結果と、これらにもとづく地下水資源の評価が述べられ、最後にマニラ首都圏地下水の開発計画及び地下水の保全管理に関する提言がまとめられている。

付属報告書には地下水調査、ボーリング、コンピューターモデルの詳細が記載されている。また、付属報告書2にはマニラ首都圏の都市開発と水供給システム及び水需要の詳細が含まれている。資料集は電気探査、揚水試験、井戸リハビリテーション、井戸台帳、水質分析、コンピューターアウトプットが含まれている。



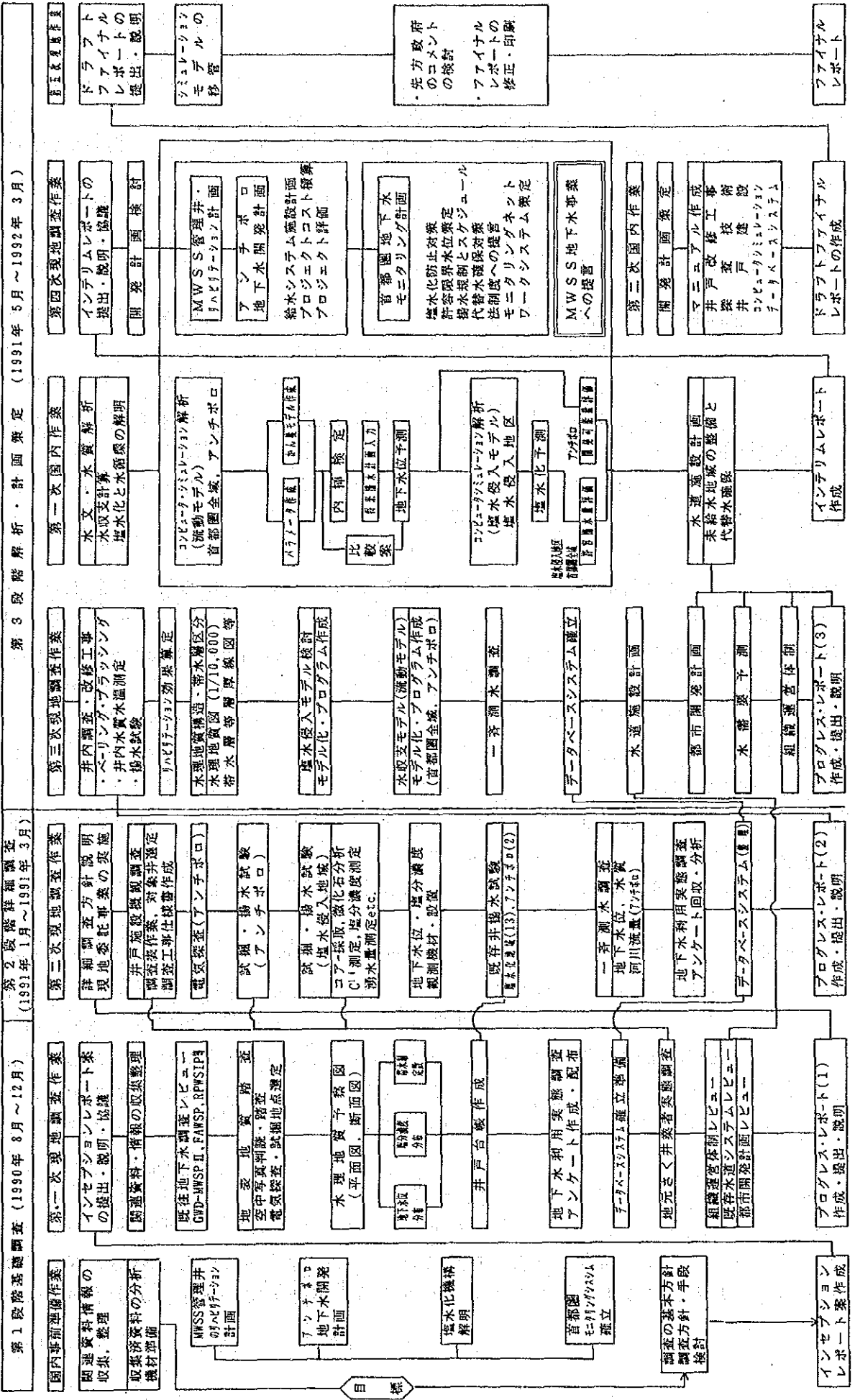
STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 1. 1

調査対象地区

図 1. 2 マニラ首都圏地下水開発調査プロジェクト



2. 社会経済と水供給

2. 1 社会経済

地理的位置

フィリピン国はアジア大陸東南方の西太平洋上、北緯 $4^{\circ}23'$ から北緯 $21^{\circ}25'$ 、東経 $116^{\circ}00'$ から東経 $126^{\circ}30'$ の間に位置し、大小7、100余の島々から成っている。主要な11島がフィリピン国土面積の90%を占めるが、その総面積は約300、000 km^2 である。また、首都マニラは東経 121° 北緯 $14^{\circ}35'$ のルソン島中央部に位置している。

面積・人口

フィリピンはマニラ首都圏(NCR)を含む13のリージョンから構成されている。調査地域であるMWSS給水地域(MSA)はNCR及びリージョン4に含まれるリサール県とキャビテ県の一部を含む5市32自治体からなり、その総面積は2、125 km^2 である。そのうちNCRは4市13自治体からなり、総面積は636 km^2 で調査地域の約30%を占める。

1990年センサスによるフィリピンの総人口は約60、675千人である。調査地域全体の人口は約937万人(NCR793万、キャビテ45.7万人、リサール98万人)で15%を占めるが、大半はNCRに集中しており、人口密度は123人/haに達している(表2.1.1, 図2.1.1, 2.1.2)。

社会的背景

NCRとリージョン4はフィリピン国内では最も都市化が進行している地域で、社会的サービスや公共施設は他の地域にくらべ優位にあるが、人口の大部分は依然として貧困・病気・失業等にさらされている。マニラ首都圏では若年労働力は豊富にあるものの、雇用機会は相対的に低く、NCRにおける雇用率は1988年統計で82.8%にすぎない。

経済的背景

NCRは貿易・金融・商業・教育の中心であり主要な産業が集中している。NCRの国内総生産(GDP)は31、323百万ペソ(1988年)で、国全体の約30%を占めて

いる（表2. 1. 2）。住民の所得レベルも他の地域に比べ高く全国平均が31,000ペソであるのに対し、約57,200ペソとなっており、その源泉の75%以上は農業以外である。

土地利用

NCRの総面積の47%は市街地である。一方リサール地域では、まだ農地・森林面積が多く、市街地は全体の11.7%にすぎない。キャビテ県ではマニラ首都圏からの都市化が進行し、市街地が増加している。

近年、工場の立地は幹線道路に沿って、北部のブラカン、東部のリサール、南部のキャビテ方面に向って進行している。また都市の人口増にともない、農地や養魚池は住宅地や商業地に転用され、各地で虫喰い状に開発されている。

2. 2 水供給

水供給の現状

1987年末では全人口の63%が公共水道により供給されている。残りの37%は民間井戸等により供給されている。マニラ首都圏及び隣接地域の給水率は86%である。給水地域の57%はMWSSによる直接サービスが行なわれているが、残りの16%は間接的に水売りにより供給されている（表2. 2. 1）。

マニラ首都圏では水供給サービスは戸別給水及び民間井戸、貧困地域では公共水栓または水売りにより行なわれている。マニラ首都圏外の都市部では、大多数の住民の給水はレベル3の段階にある。しかし、農村地域では井戸及び湧泉を水源とするレベル1の段階にある。MSAにおける1990年時点での1日当り水道供給量は約249万 m^3 と推定されている。

制度

水供給施設は公共事業省（DPWH）及びそれに所属するMWSSと地方水道公社（LWUA）の管理責任のもとにある。MWSSはマニラ首都圏及び隣接地域の上下水道を取り扱うが、LWUAはMWSSサービス区域外の上下水道を管轄する。

DPWHは主にレベル1システムの建設に当たるとともに、国家水供給計画の策定と実施

について関係省庁をリードし、それらを推進する権限と責任を有している。また国家水資源委員会（NWRB）はフィリピン国全土の適切な水利用と水利権に関する政策の実施と及び法規制に携わっている。

マスタープラン

フィリピン政府の水供給・下水道・衛生マスタープラン（1988-2000年）は2期に分けられる。第1期（1988-92年）は、マニラ首都圏とその隣接地域において既存の施設の改良と給水地域の拡大のため、アンガット水供給最適化計画（AWSOP）を始めとする多数のプロジェクトを実施し、水供給率を首都圏人口の87%とすることを目標としている。

また、その他の都市では450箇所の管路給水（レベル2及び3）と250箇所のリハビリテーションを計画し、給水率目標を77%としている。さらに、農村地域では933箇所の管路給水システムと87、146箇所のレベル1システムの建設と21、620施設の修理・更正を計画し、農村部における給水率を92%に引き上げる目標である。

第2期（1993-2000年）は都市部と農村部の両方で、適切な水供給施設の運用と保守管理及び下水道の建設のもとで、完全給水を目指すこととし、さらにいっそう、施設の建設とリハビリテーションを行ないマニラ首都圏で97%、その他の都市部で95%、農村部で93%まで人口普及率を引き上げる計画である。

MWSS給水地域（MSA）の現状

MWSSは5市32町を管轄し給水サービスを行なっている。MWSSの中央配水管網（CDS）が敷設されている地域は、アンガットダムを主要水源とする表流水が供給されている。しかし、CDSはマニラ首都圏縁辺部の北部、東部、南部（キャビテ県の一部を除く）には敷設されていない。これらの地域ではMWSSまたは水道区のような公共事業団体の井戸施設により地下水が供給されている（図2.2.1）。

AWSOPはアンガット川の表流水 $15\text{ m}^3/\text{sec}$ をCDS配水管網によりマニラ首都圏に新規に配水し、給水地域を拡張する計画であるが、プロジェクトの完成後もマニラ首都圏の一部とリサル地域には表流水は配水されない。これらの地域では、将来も長期にわたって、地下水依存が継続する。

給水人口と水量

1990年のMWSS統計によれば、MSA総人口約913万人の約90%にあたる823万人が給水サービスを受けていると推定される。このうち、29%にあたる265万人は非合法の水利用を行なっているとみられる。年間給水量は地表水876百万 m^3 、地下水33百万 m^3 である(表2.2.2)。

一方MWSSの供給サービスを受けていない、工場、事務所、学校、ホテル、住宅団地等では地下水を利用しており、その年間揚水量は307百万 m^3 に達するものと推定される。

既存の水供給施設

MWSSの水道供給は主としてアンガット川の表流水及び地下水を水源とし、CDSを通じて配水されている。表流水は、アンガットダムに貯水され、アンガット川を通してイボダムに貯水される。イボダムからは2つの水路トンネルを流下し、ピクチ頭首工を介して4本の導水路により約40%はラ・メサ浄水場へ直接導水され、処理されており、残りはノバリチエス貯水池に送水された後、バララ浄水場で処理される(図2.2.2)。

バララ浄水場で処理された水はサンファン配水池、及びバララ・ポンプ場を通して配水され、ラメサ浄水場で処理された水はバグバグ配水池を通してそれぞれ配水される。これら表流水の水源能力は1日当たり2、495千 m^3 である(表2.2.3)。

地下水はMSA内258井の深井戸から取水し、塩素滅菌の後、直接配水管に注入されている。1991年時点で、258井の深井戸の内58井は廃棄され、75井は非稼働の状態にある。地下水の供給能力は現状では1日当たり9万 m^3 程度と推定される。

工場、事務所、住宅団地等の民間深井戸施設の総数は3、000本以上と推定される。

実施中及び計画中のプロジェクト

MWSSでは水供給地域の拡張、既存施設の改善を目的として、AWSOPのほかマニラ水供給リハビリテーションプロジェクト、マニラ首都圏配水プロジェクト等を実施中である。また、計画中のプロジェクトとして、リサール給水改良プロジェクト、縁辺部水供給プロジェクトなどがある。

将来の水源と容量

実施または計画中のプロジェクトの中では、AWSOPのみが供給水量の増加に寄与すると期待される。AWSOPでは供給水量 $15\text{ m}^3/\text{sec}$ を増強するとともに、ラメサNo. 2浄水場建設により 900 km^3 の浄水能力の増加を見込んでいる。また、MWSは無収水量を減少させるため、漏水対策を軸としたリハビリテーションプロジェクトを実施中であり、1日当たり 765 km^3 を回復させる計画である。その他のプロジェクトはいずれも調査または詳細設計段階にあるため、マニラ首都圏縁辺部やリサール県域では今後長期間にわたって、地下水利用に頼らざるを得ぬ状況にある。

表 2.1.1 フィリピン国人口及び成長率

	人口 (千人)												成長率 (%)				
	1960	1970	1975	1980	1985 (Estimate)	1990	1960/ 1970	1970/ 1975	1975/ 1980	1980/ 1985	1985/ 1990	1960/ 1970	1970/ 1975	1975/ 1980	1980/ 1985	1985/ 1990	
Philippines	27,088	100.0	36,864	100.0	42,071	100.0	48,998	100.0	54,688	100.0	60,685	100.0	3.1	2.8	2.7	2.6	2.4
NCR (National Capital Region)	2,462	9.1	3,697	10.8	4,970	11.8	5,296	12.3	6,942	12.7	7,929	13.1	4.9	4.6	3.6	3.2	3.1
Region																	
1. Ilocos	2,428	9.0	2,991	8.1	3,269	7.8	3,541	7.4	3,903	7.1	3,551	5.9	2.1	1.8	1.6	2.0	1.6
2. Cagayan Valley	1,202	4.4	1,691	4.6	1,933	4.6	2,215	4.6	2,521	4.6	2,341	3.9	3.5	2.7	2.8	2.6	2.0
3. Central Luzon	2,525	9.3	3,615	9.9	4,210	10.0	4,803	10.0	5,456	10.0	6,199	10.2	3.7	3.1	2.7	2.6	2.5
4. Southern Tagalog	3,081	11.4	4,457	12.1	5,214	12.4	6,119	12.7	7,089	13.0	8,266	13.6	3.8	3.2	3.3	3.0	3.0
5. Bicol	2,363	8.7	2,967	8.1	3,194	7.6	3,477	7.2	3,922	7.2	3,910	6.4	2.3	1.5	1.7	2.4	1.3
6. Western Visayas	3,078	11.4	3,618	9.9	4,146	9.8	4,526	9.4	5,092	9.3	5,393	8.9	1.6	2.8	1.8	2.4	1.8
7. Central Visayas	2,523	9.3	3,033	8.3	3,387	7.9	3,787	7.9	4,195	7.7	4,593	7.6	1.9	2.2	2.3	2.1	1.9
8. Eastern Visayas	2,041	7.5	2,381	6.5	2,600	6.2	2,799	5.8	2,073	5.6	3,055	5.0	1.6	1.8	1.5	1.9	0.9
9. Western Visayas	1,351	5.0	1,869	5.1	2,048	4.9	2,528	5.3	2,863	5.2	3,159	5.2	3.3	1.8	4.3	2.1	2.3
10. Northern Mindanao	1,297	4.8	1,933	5.3	2,314	5.5	2,759	5.7	3,718	5.8	3,510	5.8	4.2	3.5	3.6	2.9	2.3
11. Southern Mindanao	1,353	5.0	2,201	6.0	2,715	6.5	3,347	7.0	3,836	7.0	4,457	7.3	5.0	4.3	4.3	2.8	2.9
12. Central Mindanao	1,383	5.1	1,941	5.3	2,070	4.9	2,271	4.7	2,598	4.8	3,171	5.2	3.4	1.3	1.9	2.7	3.5

Source: 1960-1980 Philippine Statistical Yearbook 1989 (NSO)
 1985 Philippine Yearbook 1989 (NSO)
 1990 1990 Census of Population and Housing (NSO)

表 2. 1. 2 フィリピン国 GDP 1987-1988
(at constant 1972 prices)

リージョン	国内総生産 (百万ペソ)		成長率 (%)	一人当りの年間生産 (ペソ)	
	1987	1988*	1987-1988	1988	1987-1988
PHIL.	95,948	101,758	6.63	1,733	3.56
NCR	28,502	31,323	9.90	4,143	6.89
I	4,323	4,507	4.25	1,090	2.28
II	2,301	2,432	5.70	897	3.16
III	7,664	8,286	8.12	1,413	5.59
IV	14,221	14,929	4.97	1,941	2.19
V	3,120	3,257	4.41	776	2.09
VI	6,545	6,902	5.44	1,269	3.19
VII	6,905	7,421	7.48	1,669	5.45
VIII	2,323	2,383	2.60	735	0.76
IX	3,350	3,492	4.24	1,141	1.96
X	5,248	5,570	6.13	1,620	3.41
XI	7,082	7,186	1.47	1,739	-0.98
XII	3,844	4,064	5.74	1,451	3.14

(*) As of January 1989

Sources: Economic and Social Statistics Office
National Statistical Coordination Board

表 2. 2. 1 水供給の現況 1987

(million)

地 域	人 口 (%)		給水人口				公共水供給システム とアクセスできない 人口 (%)	
			合 計 (%)	井戸及び湧泉 (%)	管路給水 システム (%)			
Philippines	57.36	100	36.17 63	17.92 31	18.25 32	21.19 37		
Urban	23.53	100	15.39 65	12.52 53	2.87 12	8.14 35		
Metro Manila and and its con- iguous area	8.16	100	7.01 86	6.84 84	0.17 2	1.15 14		
Others	15.37	100	8.38 55	5.68 37	2.70 18	6.99 45		
Rural	33.83	100	20.78 62	5.40 16	15.38 46	13.05 38		

* Excluding the 303,433 population of the towns of Rizal province under BP 799.

Source: Department of Public Works and Highways, Water Supply, Sewerage, and Sanitation Master Plan of the Philippines: 1988-2000.

表 2. 2. 2

MWS Sの水供給実績

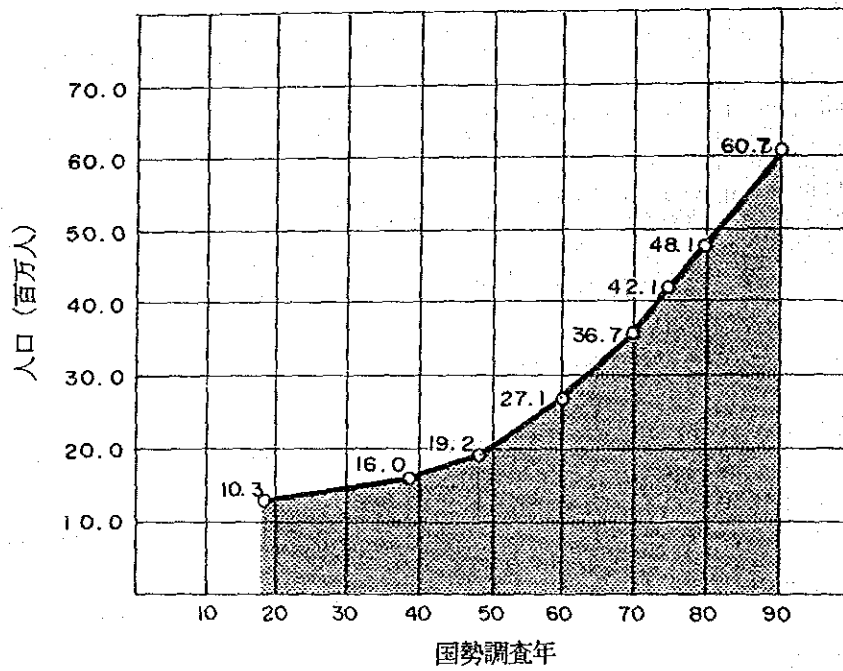
Year	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1) Pop'n under MWS S (million)	7.480	7.712	7.938	8.167	8.405	8.651	9.133
2) Water Production							
a) Surface Water (million m3)	642.24	757.37	874.07	834.75	849.34	859.10	875.80
b) Groundwater (million m3)	25.56	29.45	30.43	27.87	29.48	28.96	33.33
Total	667.80	786.83	904.51	862.62	878.82	888.06	909.13
Increase	-	119.03	117.68	(41.89)	16.20	9.24	21.07
3) Water Consumption							
a) Volume Sold (million m3)	289.90	302.85	310.78	336.51	359.45	375.77	384.67
%	43.4%	38.5%	34.4%	39.0%	40.9%	42.3%	42.3%
b) NRW (million m3)	377.90	483.98	593.73	526.11	519.37	512.29	524.46
%	56.6%	61.5%	65.6%	61.0%	59.1%	57.7%	57.7%
Total	667.80	786.83	904.51	862.62	878.82	888.06	909.13
c) House Connection (mil. m3)	168.55	183.55	195.47	218.48	225.85	235.74	244.97
d) P.F. & Other Conn. (mil. m3)	121.35	119.30	115.31	118.03	133.60	140.03	139.70
e) Illegal Use (mil. m3)	151.16	193.59	237.49	210.44	207.75	204.92	209.78
Sub Total	441.06	496.44	548.27	546.95	567.20	580.69	594.45
%	66.0%	63.1%	60.6%	63.4%	64.5%	65.4%	65.4%
f) Leak, Meter Error (mil. m3)	226.74	290.39	356.24	315.67	311.62	307.37	314.68
%	34.0%	36.9%	39.4%	36.6%	35.5%	34.6%	34.6%
Total	667.80	786.83	904.51	862.62	878.82	888.06	909.13
4) Number of Connections							
a) House Connection	321,512	377,538	442,323	490,223	508,545	543,128	599,754
b) Public Faucet	1,020	1,080	1,160	1,230	1,300	1,420	1,490
c) Others	27,039	27,368	26,919	26,703	44,688	43,910	47,343
Total	349,571	405,986	470,402	518,156	554,533	588,458	648,587
Increase	-	56,415	64,416	47,754	36,377	33,925	60,129
5) Estimated Population Served							
a) House Connection (million)	2.604	3.058	3.583	3.971	4.119	4.399	4.858
b) Public Faucet (million)	0.496	0.525	0.564	0.598	0.632	0.690	0.724
Sub Total	3.100	3.583	4.147	4.569	4.751	5.089	5.582
Increase	-	0.483	0.564	0.422	0.182	0.338	0.493
c) Illegal Use (million)	1.358	1.955	2.738	2.483	2.381	2.399	2.649
Total	4.458	5.538	6.884	7.052	7.132	7.489	8.232
Increase	-	1.080	1.347	0.167	0.080	0.357	0.743
6) Per Capita Water Consumption (lpcd)							
a) for distributed water	410	389	360	335	338	325	303
b) for affective water	271	246	218	212	218	212	198
c) for domestic water	177	164	149	151	150	147	138

Note: 5a = 4a x 8.1, 5b = 4b x 486, 5c = (3b x 0.4 x (3c/3a)) / (3c/4a) x 8.1

6a = (3a+3b) / (5a+5b+5c), 6b = (3c+3d+3a) / (5a+5b+5c), 6c = 3c / 5a

Source: Corporate Planning Group

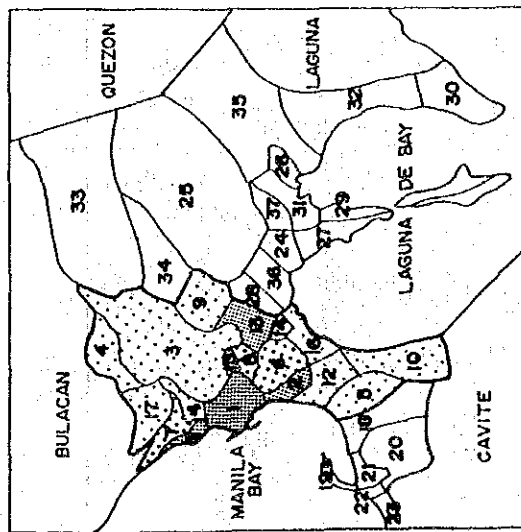
フィリピン国人口成長



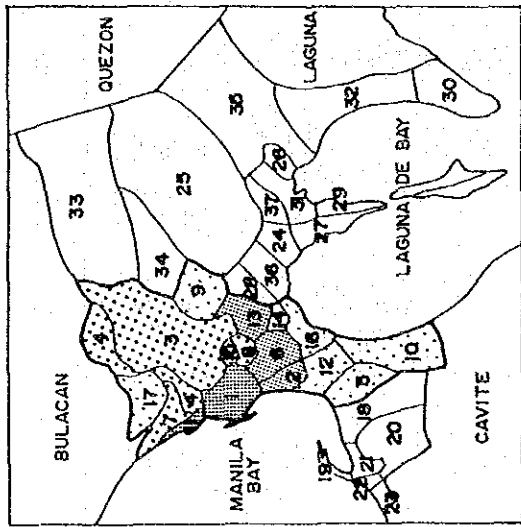
STUDY FOR THE GROUNDWATER
DEVELOPMENT IN METRO MANILA

図 2. 1. 1 フィリピン国人口成長

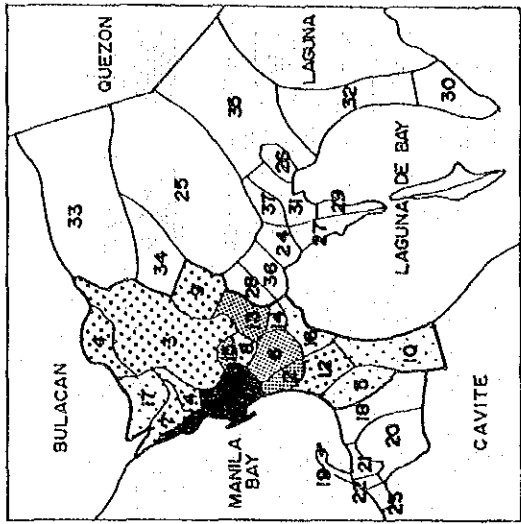
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



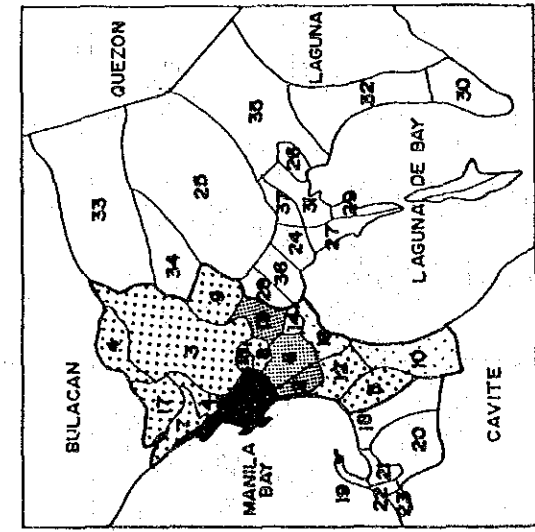
1970



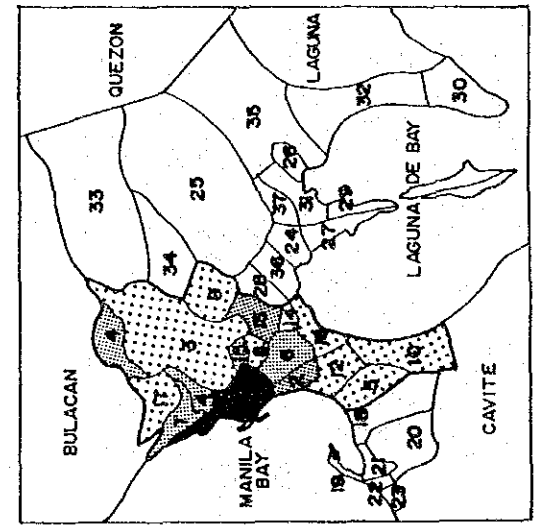
1975



1980



1985



1990

市/自治体

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1. Manila | 20. Imus |
| 2. Pasay | 21. Kawit |
| 3. Ouston | 22. Navotas |
| 4. Cotoacan | 23. Rosario |
| 5. Las Piñas | 24. Argona |
| 6. Makati | 25. Antipolo |
| 7. Marikina | 26. Baras |
| 8. Mandaluyong | 27. Binangonan |
| 9. Marikina | 28. Calatagan |
| 10. Muntinlupa | 29. Cardena |
| 11. Navotas | 30. Jala - Jala |
| 12. Paranaque | 31. Marang |
| 13. Pasig | 32. Pililla |
| 14. Pateros | 33. Monticibon |
| 15. San Juan | 34. San Mateo |
| 16. Taguig | 35. Toney |
| 17. Valenzuela | 36. Taytay |
| 18. Bacoor | 37. Tarasa |
| 19. Cavite City | |

凡例
人口密度 (人/ha)

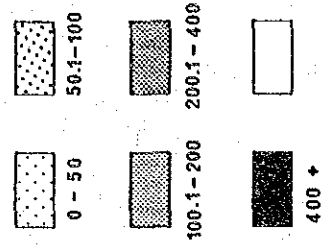
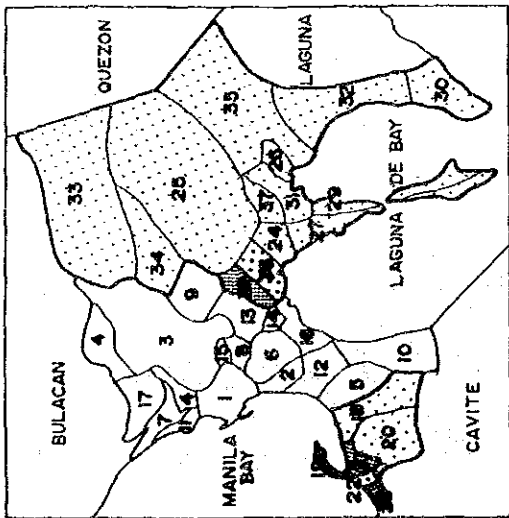
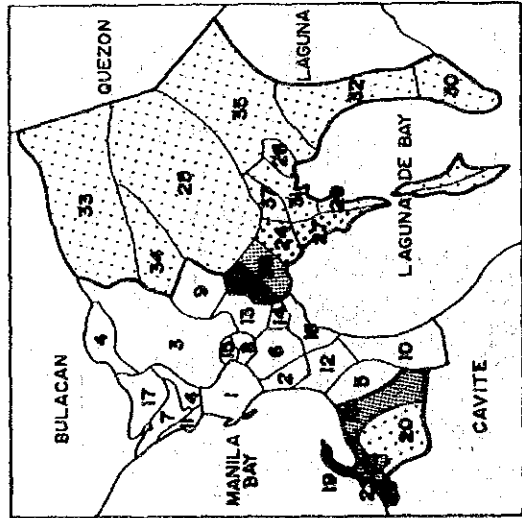


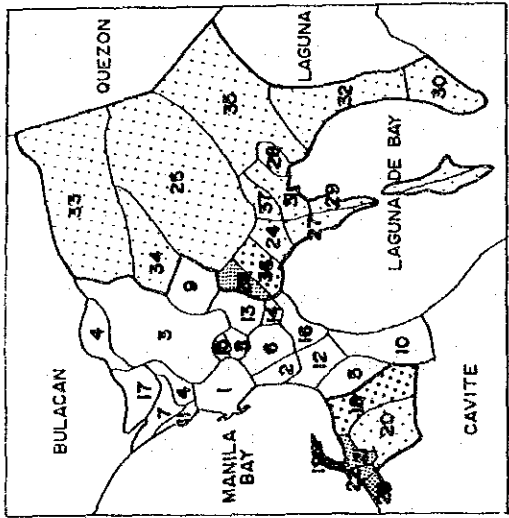
图 2.1.2 (1) 调查地域人口密度 (1990年)



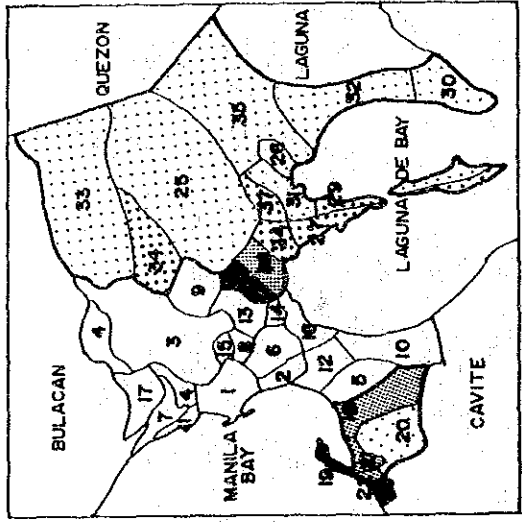
1975



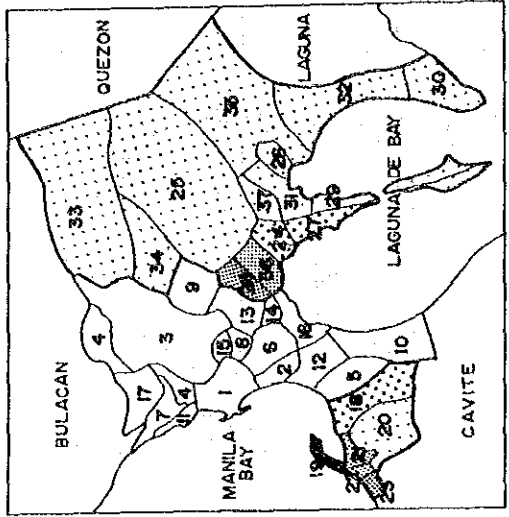
1980



1975



1985



1990

市/自治体

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. Manila | 20. Imus |
| 2. Pasay | 21. Kawit |
| 3. Quezon | 22. Navotas |
| 4. Caloocan | 23. Rosario |
| 5. Las Piñas | 24. Angono |
| 6. Makati | 25. Antipolo |
| 7. Malabon | 26. Baras |
| 8. Mandaluyong | 27. Binangonan |
| 9. Marikina | 28. Cainta |
| 10. Muntinlupa | 29. Cardona |
| 11. Navotas | 30. Jala-Jala |
| 12. Parañaque | 31. Marong |
| 13. Pasig | 32. Piliña |
| 14. Pateros | 33. Montalban |
| 15. San Juan | 34. San Mateo |
| 16. Taguig | 35. Tandang |
| 17. Valenzuela | 36. Taytay |
| 18. Bacoor | 37. Teresa |
| 19. Cavite City | |

凡例
人口密度 (人/ha)

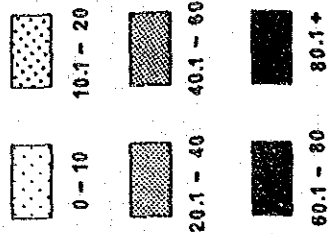
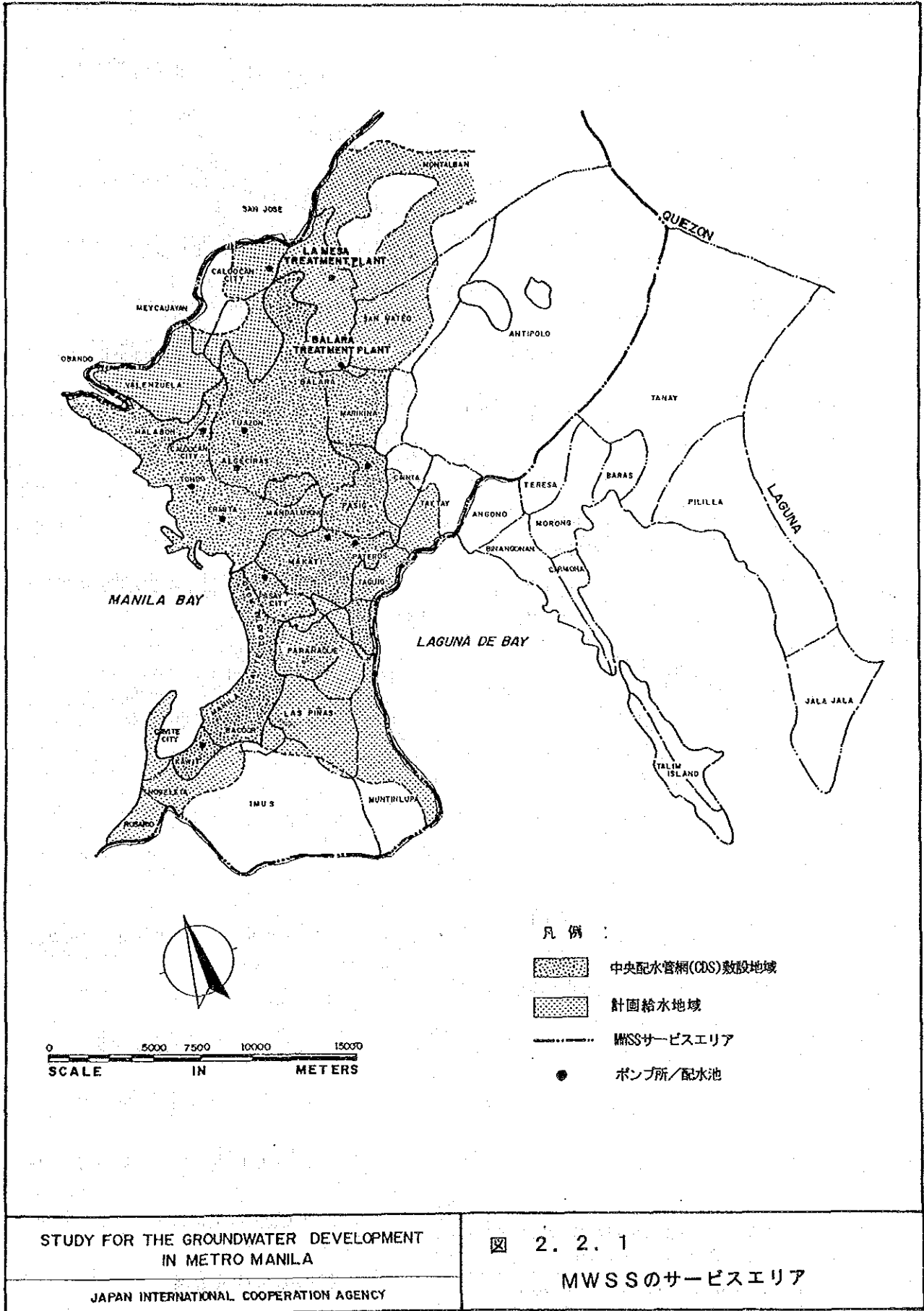
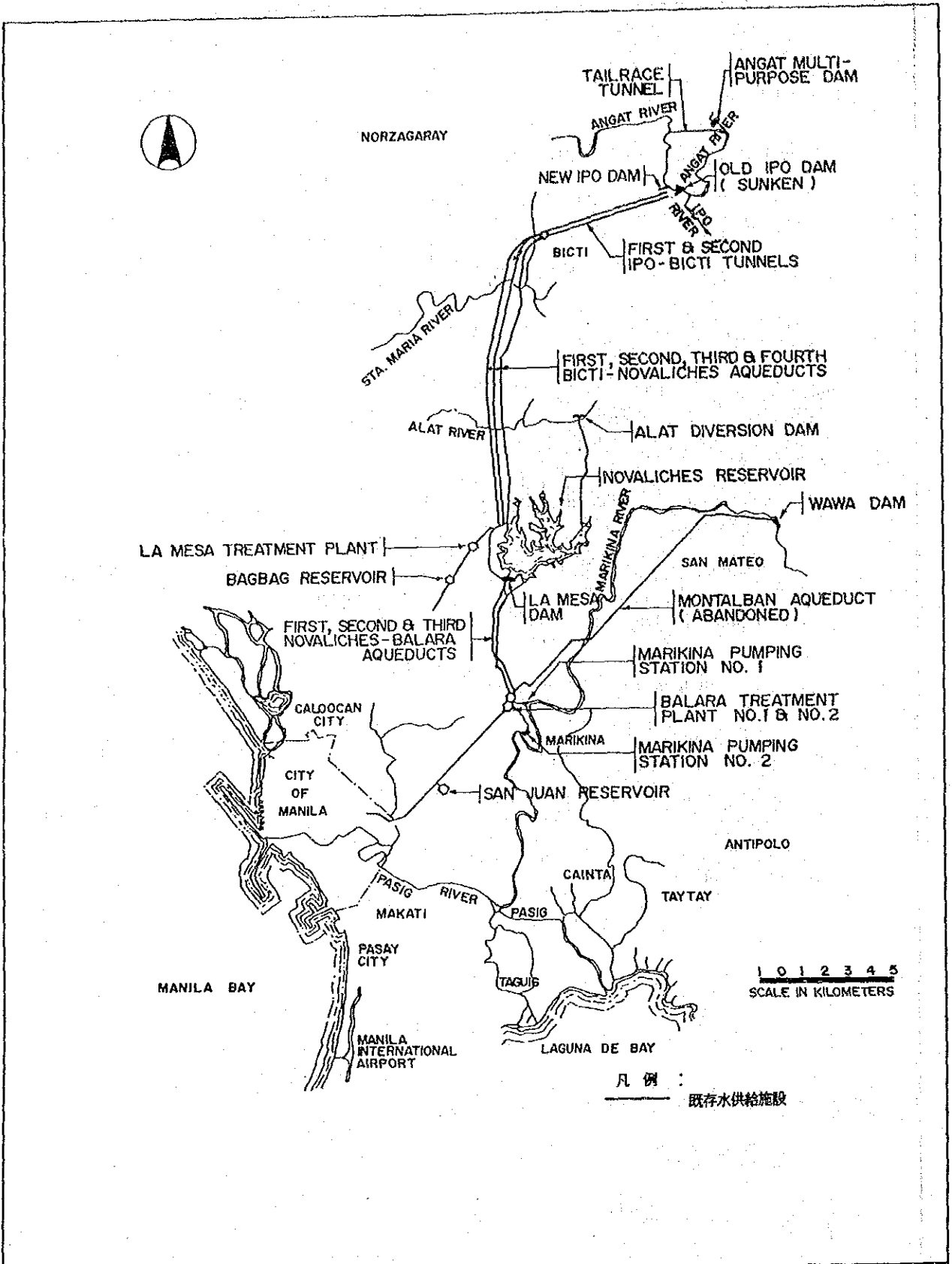


图 2.1.2 (2)

调查地域人口密度 (1990年)





STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 2. 2. 2
既存の水源位置図

3. 地下水

3. 1 水文環境

3. 1. 1 気候

調査地域の気候は5月から10月までの雨期と11月から翌年4月までの乾期とに分けられる。年平均降雨量は1900mmから2200mmで、降雨量の90%は雨期に集中する。降雨量は東側の山地で多く2200-2400mmを示すが、西側のマニラ湾に向かって減少し1900-2000mmとなる(図3. 1. 1)。

月平均気温は25-30Cの間であり、最も気温の低い月は12月-2月、最も気温の高い月は4月-5月である。

3. 1. 2 地形と水系

調査地域は西側はマニラ湾に、南側はラグナ湖に面している。東側にはマリキナ峡谷をはさんで標高約250mのアンチポロ台地が南北に延び、さらにその東側は標高1400-1500mのシエラマドレ山脈に連なる丘陵・山地が迫っている。調査地域の主部は南北に延びる標高20-70mの丘陵が発達し、マニラ湾とラグナ湖ぞいには標高0-10mの低地が広がっている。

調査地域はパシグ・ラグナ湖水系と呼ばれ、マリキナ川水系、ラグナ水系および都市河川水系に3区分できる。マリキナ川は北東部山地に源を発し、峡谷を南流し、ナピンダン堰から流路を変え、パシグ川と名を変えてマニラ市街を東西に横切り、マニラ湾に注いでいる。都市河川はラスピニャス・パラニャケ市街を西流する小河川で、マニラ湾に注いでいる。

ラグナ湖は山地丘陵から小河川が流入している。湖はナピンダン水路を通じてパシグ川につながっており、その流量と水位はナピンダン堰により調節されている(図3. 1. 2)。

3. 2 水文地質

3. 2. 1 マニラ首都圏とその周辺地域

地質概要

調査地域はルソン中央平原の南東部に位置する。ルソン中央平原は、北はリングエン湾、南はマニラ湾に開いた広大な平原で、沖積層および更新世—鮮新世のガダルベ層が厚く堆積し、地質学的にはルソン中央峡谷堆積盆と呼ばれている（図3. 2. 1）。

ルソン中央平原の東側には南北に東部丘陵が発達している。丘陵の標高は40—200mで北はパラヤンからケソンを経て南はラグナ湖にいたる。調査地域の主部、すなわちマニラ首都圏の大部分は、この丘陵上に乗っている。丘陵には火山灰質の堆積物からなるガダルベ層が露出している。

マニラ湾及びラグナ湖の南方山地は南西ルソンアップランドと呼ばれる。マニラ湾の南岸及びラグナ湖畔から南にはタール火山の山麓が広がり、山地は広く火山岩類におおわれており、調査地域南部への地下水かん養域となっている。

南部シエラマドレ山地は東部丘陵の東側を構成する標高300—1500mの山地で、地質は主に中生代—古第三紀の火山砕屑岩類と石灰岩から構成されている。これらは、調査地域の水理地質基盤となっている。

ザンバレス山地はルソン中央平原の西側に南北にバターン半島へ連なる山地で、ピナツボ火山など標高1200m以上の火山群とそれらの基盤をなす超塩基性岩類からなり、過去100万年以前から洪積世の間、ガダルベ層堆積盆への西側からの供給源となっていたと考えられる（図3. 2. 2）。

地質層序と分布

調査地域は白亜紀—古第三紀のキナブアン層、メイバンゲン層、新第三紀のアンガット層、マドルム層、鮮新—洪積世のガダルベ層及び沖積層が分布する（図3. 2. 3）。

調査地域の中央部を南北に走るマリキナ断層を境に、西側の丘陵にはガダルベ層が、またマニラ湾沿岸には沖積層が分布している。また、断層の東側には上述の各層が分布している。

水文地質的な特徴

沖積層とガダルベ層は帯水層をなす。第三紀層以前の各層は堆積岩類・火山岩類ともに良

く固結した緻密な岩石からなり、風化帯や裂かの集中するゾーンを除くと、ほとんど不透水層とみなすことができる。

ガダルベ層は凝灰質砂岩、れき岩、粗粒凝灰岩などの堆積岩が帯水層を構成している。調査地域では3つの独立した堆積盆が認められ、そのうち最大のガダルベ堆積盆はルソン中央谷堆積盆の一角を占め、マニラ首都圏の大部分を占めている。全体として東から西へ向かって緩く傾斜し、マニラ湾沿岸では沖積層におおわれている。その層厚は2000m以上に達するものと推定される(図3.2.4)。

アンチポロ台地は周囲を第三紀以前の水理地質基盤岩類で囲まれ、ガダルベ層におおわれ独立した堆積盆を構成している。全体層厚は230m程度と推定され層厚最大130mの上部層が良好な帯水層をなしている。

アンチポロ台地の北部にはキナブアン層の玄武岩を基盤として、ガダルベ層が小さな堆積盆をなしている。

ラグナ湖の周囲に分布するラグナ層群はガダルベ層と同時異相の火山碎屑岩類で、裂かの発達する部分を除くと、一般に不透水層をなす。

沖積層は砂・粘土からなり、マニラ湾沿岸、マリキナ峡谷、ラグナ湖畔、東部山地の山間盆地に分布し不圧帯水層をなす。しかしマニラ湾沿岸では地下水の塩水化が進んでいる。

3.2.2 アンチポロ台地

アンチポロ台地のガダルベ層は露頭観察・ボーリング結果から4部層に区分される。最下部の第1層はれき岩と粗粒砂岩からなり台地の北部に分布する。第2層は下部の中粒砂岩、れき岩と上部の凝灰質泥岩・砂岩の互層からなり、台地東部の急斜面に露出する。第3層は泥岩・凝灰岩の互層からなり、アンチポロ台地の中央部に分布している。また第4層は風化の進んだ凝灰角れき岩、火山円れき岩からなり台地の北部をおおっている。

ガダルベ層は、新第三紀層以下の硬い岩盤を基盤とし、その上に堆積している。基盤の形状は南北に細長い船底状を呈し、中心部の深さは地表下180-230mである。アンチポロ台地は、東、西、北側に基盤岩類が分布し、不整合あるいは断層でガダルベ層と接し、独立した地下水盆を構成している。このため、台地の縁辺部には湧泉が分布し、地下水が流出している(図3.2.5)。

アンチポロ台地の電気探査結果と台地中心部のバランガイ・サンホセで行なったテストボーリング結果（250m及び200m）を総合すると、ガダルペ層は水文地質的には上部のGs層と下部のGmd層に2分される。Gs層は主として第3層の粗粒砂岩と凝灰岩から構成され良好な帯水層をなす。層厚は100-120mである。Gmd層は主として第2層の凝灰質泥岩からなり難透水層をなす。また、ガダルペ層の表層30-50mは風化が進み、不圧地下水または宙水を含む帯水層となっている（図3. 2. 6）。

アンチポロ台地の中心部の地下水位は地表下30-40m（標高160-170m）であるが、台地の北部と南部では地下水面の高まりがみられ、地下水位は20-30m（標高190-200m）を示している。また台地の縁辺部では、地下水位の勾配は急で、地下水が台地から流出する様子うかがえる。

3. 2. 3 ラスピニャス

ラスピニャスはマニラ湾に面した標高0-10mの沖積低地とその背後の標高20-40mの丘陵からなる。沖積低地の幅は約1.5-2kmで、ラスピニャス川、サボテ川と、旧河道、マリンポンドが分布し、その間に市街地が密集している。

沖積低地は砂・粘土から成る沖積層におおわれている。丘陵部には砂岩・泥岩・凝灰岩・れき岩の互層よりなるガダルペ層が分布している。ガダルペ層の走向は、ほぼ海岸線に平行で、傾斜3°-5°でマニラ湾方向に傾いている。ガダルペ層の層厚は2000mに達するものと推定される。

ガダルペ層の層相と地下水の塩水侵入状況を解明するため、ラスピニャスでコアボーリングと観測井の掘削を行なった。それによれば、表層部は10m未満の沖積層で、それ以深は凝灰質シルト、泥岩、砂岩、軽石などの互層からなるガダルペ層である。深度60-90m付近に顕著な粘土層（CL）が発達している。また、顕著な軽石層（PM）が4層識別され、粘土層と同様に水平方向によく連続する。CLは上部と下部の帯水層を分ける加圧層の役割を果たしている（図3. 2. 7. 3. 2. 8）。

層厚約300mのガダルペ層は2つの帯水層に大別できる。第一帯水層は約60mの層厚を持ち被圧されている。地下水はかなり塩水化しているので、井戸は本層から取水していない。第二帯水層は、200m以上の層厚を持ち、被圧している。既存井は本層にスクリーンを設置している。CL層は、第一帯水層が塩水化しているので、第一加圧層として、それ以深の帯水層への塩水侵入に対し重要な役割を持っている。

地下水位は帯水層毎に異なっている。ラスピニャス100m井の地下水位は、No. 1とNo. 2でそれぞれ4.6m及び3.7mを示している。これに対し、200m井はNo. 1で37.3m、No. 2で43.4mである。また、300m井ではNo. 1で44.5m、No. 2で50.0mと200m井よりも低下しており、地下水が主に第二帯水層から取水されていることを示唆している。

パンプローナでは、この地域の激しい地下水揚水により、第二帯水層の被圧水頭は海面下60mまで低下している。地下水は、広域的には、第一帯水層から第二帯水層へ、下向きの漏水によって流動し、パンプローナの地下水低下帯に向かっている。

3.3 地下水利用

MSA内の民間深井戸3434本の井戸台帳を作成した。このうち、1218本はすでに廃棄され、現在稼働中の深井戸は2216本である。MWSSが管理する深井戸は258本であり1990年時点でこのうち131本が稼働している。民間井戸数は首都圏南部のパラニャケ、ラスピニャス、モンテンルバ、中部のバシグ、北部のケソン、カローカン、バレンスエラなどの自治体に多い。

民間井戸542箇所の揚水量実態調査を行い、それらにもとずき2216本の1990年揚水量を推定した。またMWSS管理井については取水実績をもとに集計した(図3.3.1)。集計結果によると、MSA管内(BP799によるリサル県内9自治体を除く)の年間揚水量は339.6百万 m^3 (民間井戸:306.8百万 m^3 、MWSS管理井:32.8百万 m^3)と推定される。また、民間井戸揚水量の用途別内訳は、工業用水129.54、商業用水26.34、家庭用水等150.97百万 m^3 である。

3.4 地下水位

231箇所の既存深井戸を観測井として、1990年11月、1991年4月-5月及び1991年8月の3回にわたって一斉測水を行い、地下水コンター図を作成した。

地下水位は首都圏北部のカローカンや南部のバコール・イムス付近で高く、それぞれ標高20-60m、10-50mを示している。地下水位は首都圏の大部分で著しく低下し、南部のラスピニャス・パラニャケでは-70から-80m、中部のバシグ・ケソンでは-50から-60m、北部のバレンスエラでは-110mにも低下している。

地下水は、それぞれ揚水地域に向かって、首都圏北部では北から南へ、また南部では南か

ら北へ流動している。また、マニラ湾およびラグナ湖から地下水位の低下帯に向かって地下水が流動している（図3.4.1）。

1990-91年の地下水位コンターを1981年のそれと比較すると、マニラ・マカティ・マンダルヨンなど首都圏中心部の地下水位は最大80m以上も回復している。これは1987年に完成したマニラ水供給プロジェクトII（MWSP II）により、地下水の表流水への転換が進んだことによると考えられる。

雨期と乾期の地下水位コンターを比較すると、雨期には降水のかん養を受け北部で1-6m、南部で2-4m上昇している。しかしながら、大部分の地域では、揚水に伴い継続的に地下水位が低下している。

3.5 水収支解析

水文観測結果に基づき、アンチポロ台地とアンチポロを除く調査地域全域の地下水かん養量を次式により推定した。

$$P = R + E + I$$

ここに、P：年平均降雨量、R：地表流出量、E：蒸発散量、I：浸透量

アンチポロ台地の水収支は以下の通りである。（1911-1990年平均）

降雨量	:	2720.8	mm
流出量	:	1142.7	
蒸発散量	:	958.8	
かん養量	:	619.3	mm（降雨量の23%）

また都市化の影響を考慮した調査地域全域の水収支は以下の通りである。

降雨量	:	2329.7	mm
流出量	:	1397.8	
蒸発散量	:	816.6	
かん養量	:	115.3	mm（降雨量の4.9%）

3. 6 帯水層定数

観測井及びMWS S管理井15箇所の揚水試験と既存揚水試験資料により、ガダルベ帯水層の透水量係数と比湧出量分布図を作成した。透水量係数は、マニラ首都圏の大部分の地域で50-100 m²/dayの範囲にある。また、その平均値は58.3 m²/dayである。マニラ湾沿岸、ラグナ湖西岸およびマリキナ峡谷では100 m²/dayを越す地域がみられる(図3.6.1)。

3. 7 地下水の水質

マニラ首都圏の稼働中の深井戸90箇所から地下水を採水し主要成分7項目(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃, SO₄)について分析し、キーダイアグラムにプロットした(図3.7.1, 3.7.2)。

海岸平野の地下水は (carbonate alkali)及び (noncarbonate alkali)の領域に分布している。この領域の水は塩水化しており、塩素イオン濃度は200 mg/l以上を示している。とくに、ラスピニャスのJICA観測井(100m井)では17000 mg/l以上の、極めて高い濃度を示す。この領域に分布する水は、この領域(carbonate hardness)の領域から移行したもので、引き続きこの領域への移行過程にある。

ガダルベ丘陵の地下水は及びこの領域に分布している。この領域の水はこの領域の水が水質的に進化したものと考えられる。塩素イオン及び硫酸イオンの濃度はおおむね50 mg/l以下の小さな値を示す。

マリキナ峡谷の地下水は、このからこの全ての領域に分布している。(non-carbonate hardness)領域及びこの領域の塩分濃度は140 mg/l以上を示し、地下深部のガダルベ層から化石塩水が混入した可能性が強い。

アンチポロ台地の地下水は全てこの領域にプロットされる。ワワダム地点で採水した表流水もこの領域に属し、地下水と表流水の水質は良く似ている。降雨が浸透し地下水となつてからの経過時間は短いことを示唆している。

マニラ首都圏のガダルベ帯水層の水質は、初期にはこの領域にあるが、流動に伴ってこの領域へ進化し、海岸平野では塩水侵入によってこの領域へ変化していると考えられる。またマリキナ峡谷ではアップコーニング現象によって深部の化石塩水が混入していると考えられる。

3. 8 塩水侵入

ガダルベ帯水層からの過剰な地下水揚水にともなう地下水位低下のため、1960年代末からマニラ湾沿岸部で地下水への塩水侵入が発生している。塩水侵入はパラニャケ・ラスピニャス・キャビテなどの首都圏南西部とラグナ湖沿岸のモテンルパ・パテロス、マリキナ峡谷下流のカインタなどで著しい。

1991年の地下水塩分濃度分布（電気伝導度）を1981年のそれと比較すると、マニラ・マラボン地区では、地下水の表流水への転換により地下水位が回復し、塩水化の範囲が縮小している。しかし、ラスピニャスやバコールでは、海岸から数km離れた内陸部に塩水化が進行している（図3. 8. 1）。

ラスピニャスNo. 1-No. 3観測井の塩分濃度測定結果によると、帯水層毎に塩分濃度の違いが認められた。100m井ではNo. 1, No. 2それぞれ17, 144mg/lと21, 100mg/lの極めて高いCl濃度を示した。No. 2の200m井では4, 923mg/lであるが、No. 1の200m井、300m井とNo. 2及びNo. 3の300m井はまだ塩水化していず、Cl濃度は200mg/l以下を示した。

帯水層毎の塩分濃度の違いを考慮すると、塩水は第一帯水層から第二帯水層への漏水により移動していると考えられる。第一帯水層は、主にマニラ湾からの海水侵入を受けたものと考えられるが、このほか海岸から内陸部へ1.5-2.0kmにわたって広がるマリロンポンドやサポーテ川のような感潮河川からの塩水侵入も考えられる。

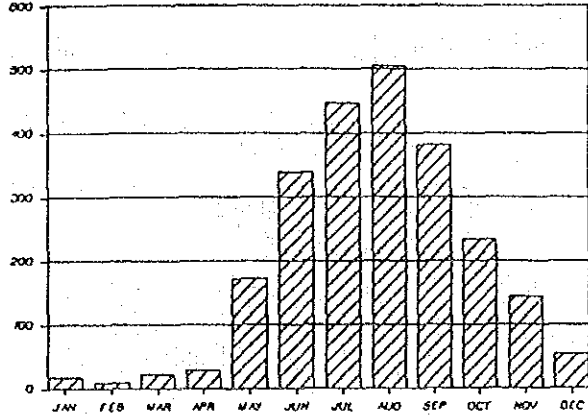
しかしながら、マリキナ峡谷では1960年代に掘削されたMGB-PS4井戸において、深部ガダルベ帯水層から高塩分濃度地下水が発見されている。記録によれば、この井戸の深度は457.2mである。これは、ガダルベ層に化石水が存在することを示唆するものである。従って、浅層部（100-200m）への塩水侵入はアップコーニングによりもたらされた可能性がある。

3. 9 地盤沈下

マニラ湾の検潮記録によると、1965年から1989年迄の25年間で平均海水面は47.8cm上昇している。しかしながら、陸上部では顕著な地盤沈下現象は認められない。マニラ湾沿岸の沖積粘土層は薄く、ガダルベ層は固結しているので地盤沈下現象は現われにくいと考えられるが、実態解明のためには、定期的に水準測量を行なうことが必要である。

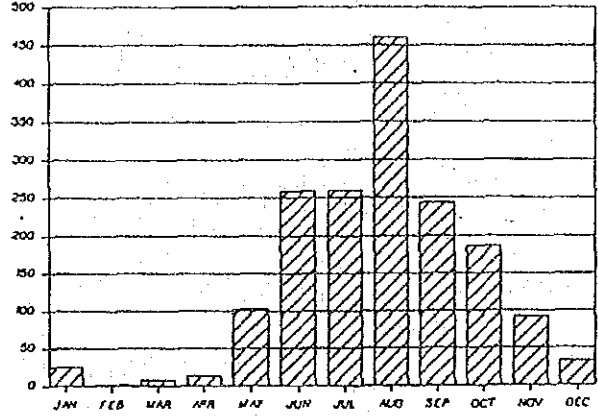
月降雨量

SCIENCE GARDEN STN. 1929-1933 (mm)



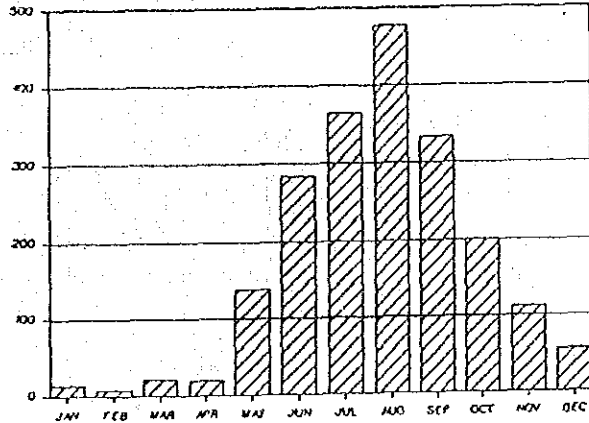
月降雨量

SANOLET PT. STN. 1915-1933 (mm)



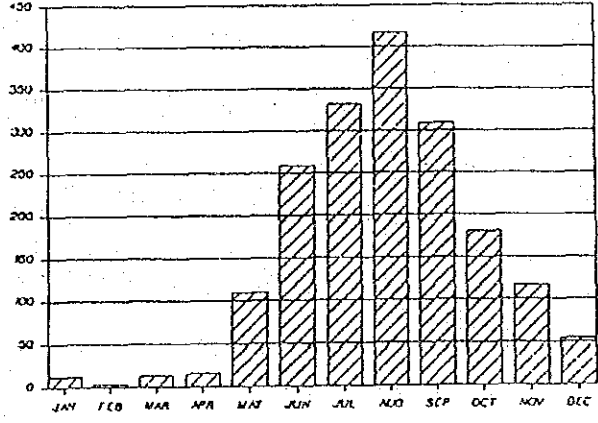
月降雨量

PORT AREA STATION 1931-1933 (mm)



月降雨量

MIA STATION 1921-1933 (mm)

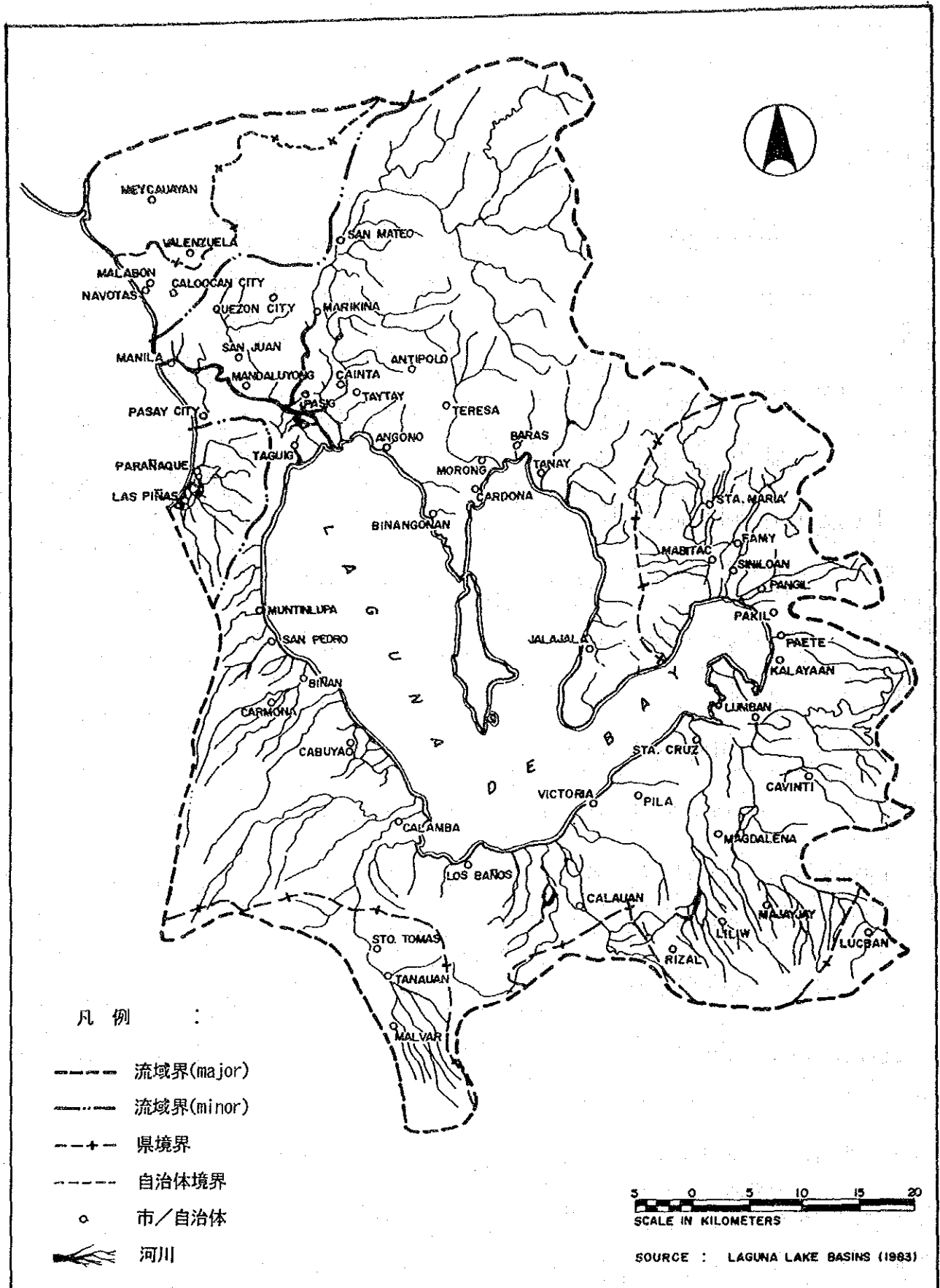


STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 1. 1

月降雨量の変化

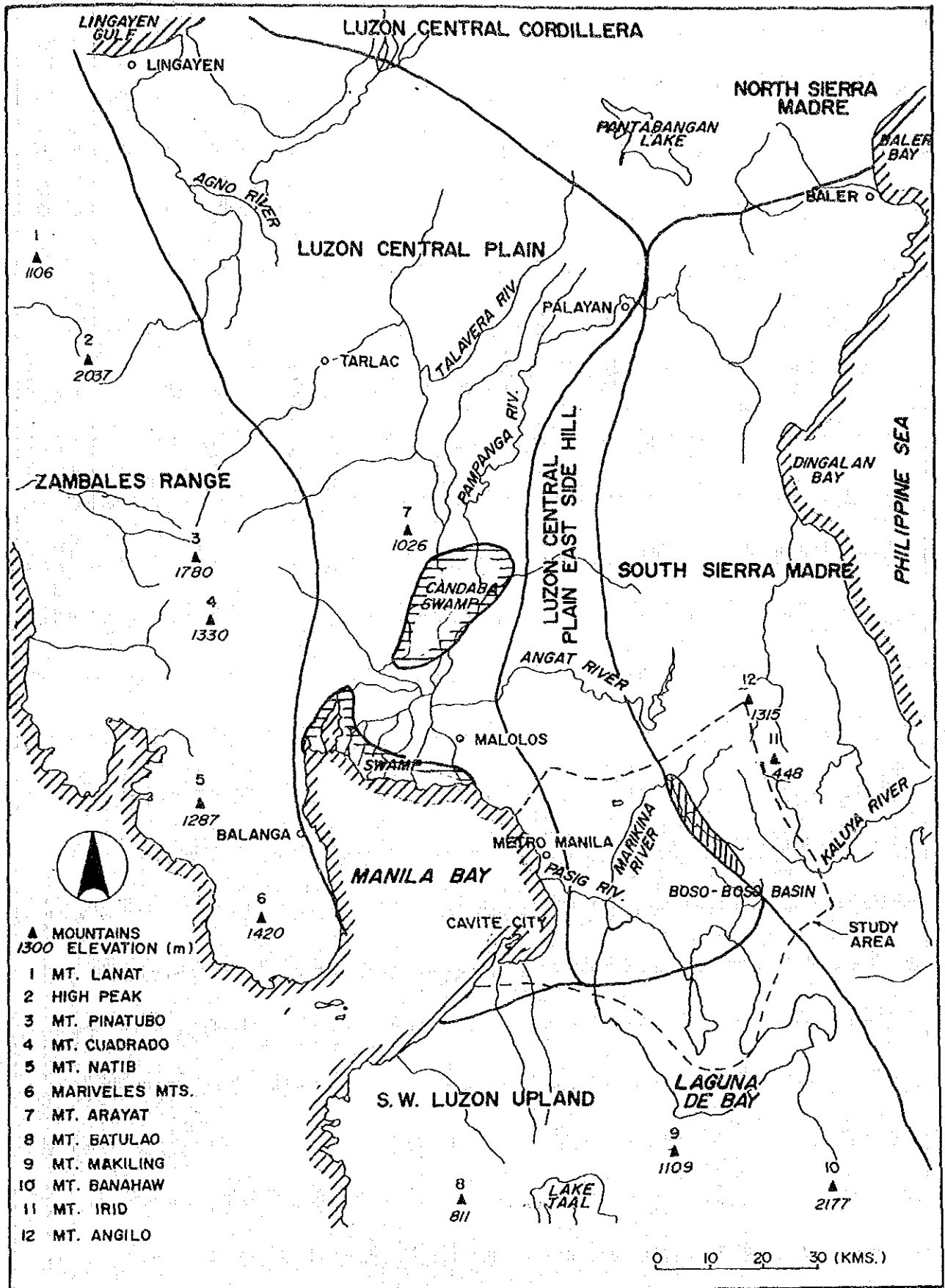


STUDY FOR THE GROUNDWATER
DEVELOPMENT IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

图 3. 1. 2

水系图



STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 2. 1
ルソン島中央部地質構造区分

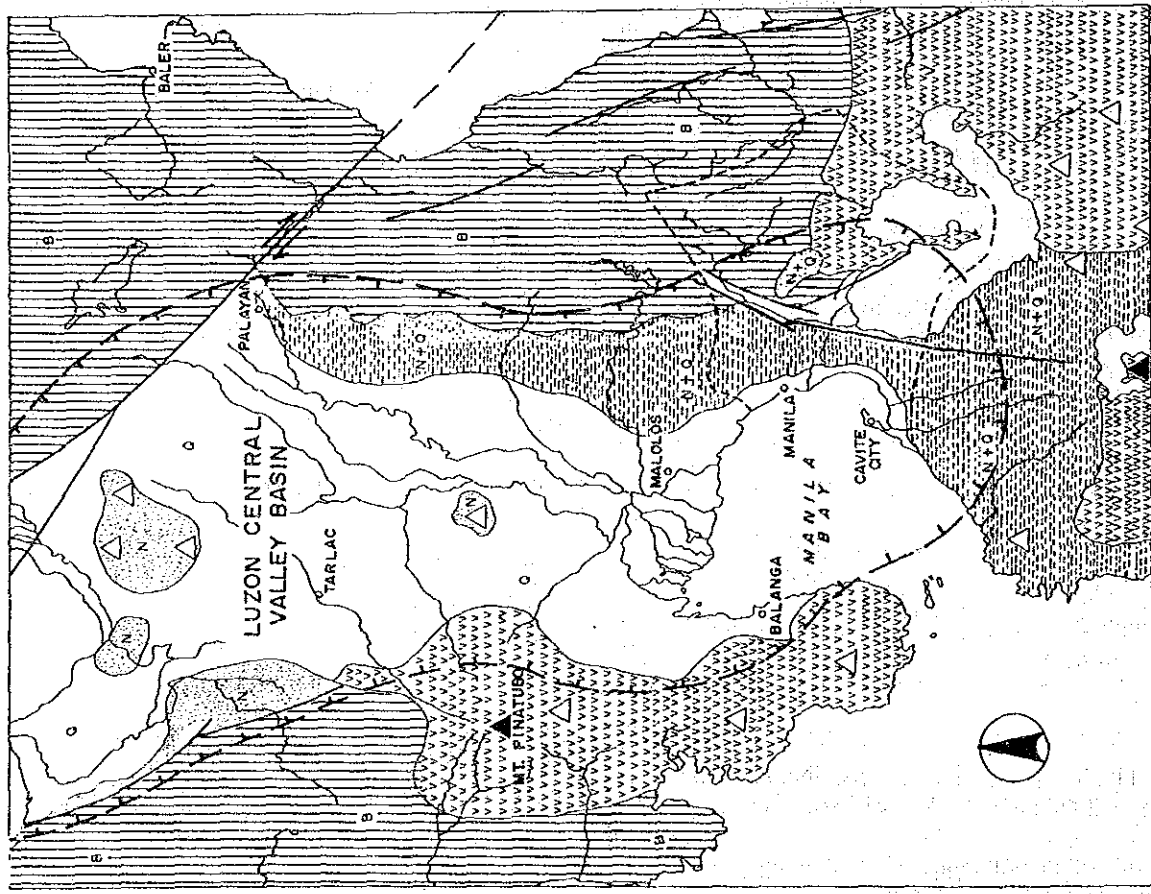
凡例

- 第四系
- N+O 新第三系-第四系 (ガダルペ層)
- ▽ 新第三系-第四系 (主として火山岩層)
- N 新第三系
- ▨ 先新第三系

断層、破線部は推定
(矢印は相対的な変位方向を示す)

堆積盆

- ▲ 第四紀活火山
- △ 鮮新世-第四紀死火山



STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT IN METRO MANILA
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
図 3. 2. 2 (1)
ルソン島中央部地質平面図

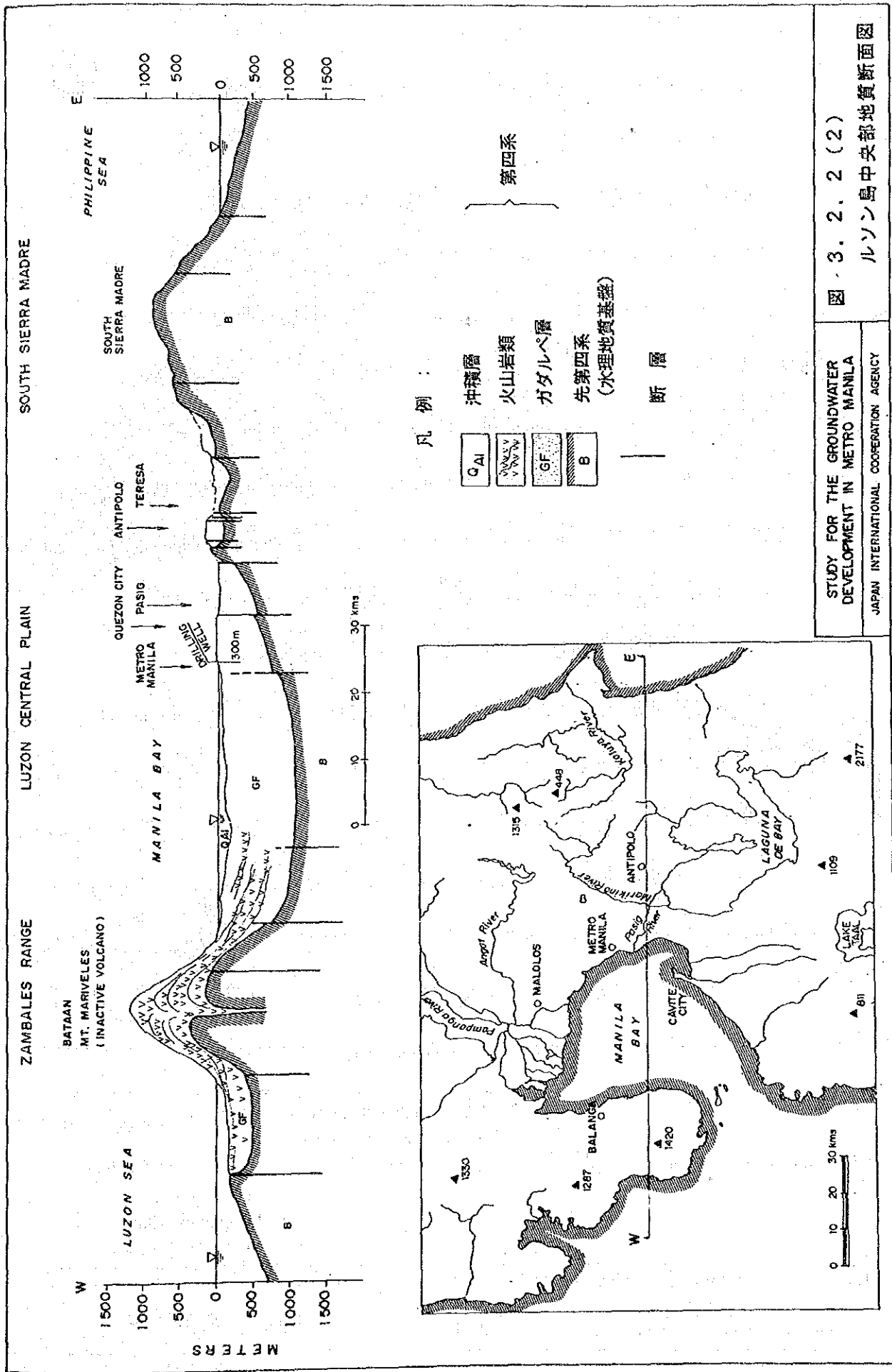
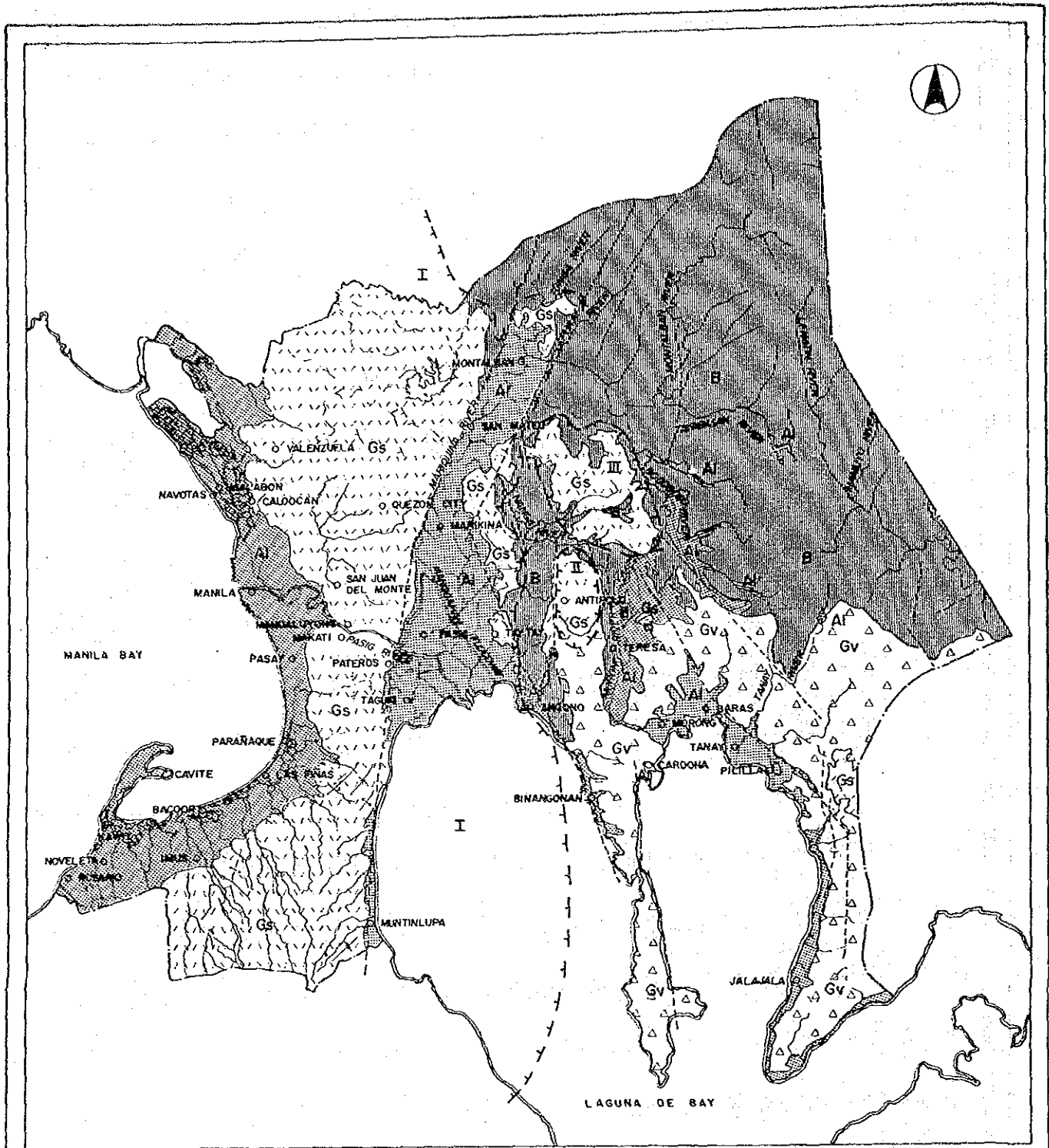


図 3. 2. 2 (2)
ルソン島中央部地質断面図

STUDY FOR THE GROUNDWATER
DEVELOPMENT IN METRO MANILA
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



凡例：

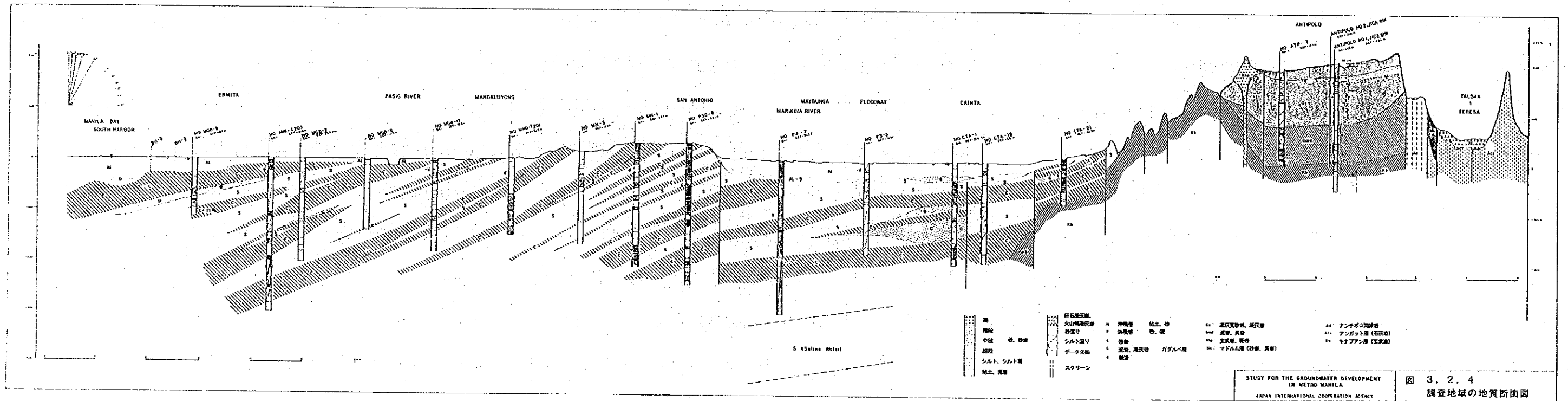
- | | | |
|--------------------|-------------------|---------|
| AI : 沖積層、崩積土、段丘堆積物 | Gv : ガダルベ層 (火山岩相) | 更新世—完新世 |
| Gs : ガダルベ層 (堆積岩相) | B : 基盤岩類 | 鮮新世—更新世 |
| 地層境界 | 断層 | 先第四系 |
| | I. ガダルベ層堆積盆 | |
| | II. アンチポロ堆積盆 | |
| | III. 北アンチポロ堆積盆 | |

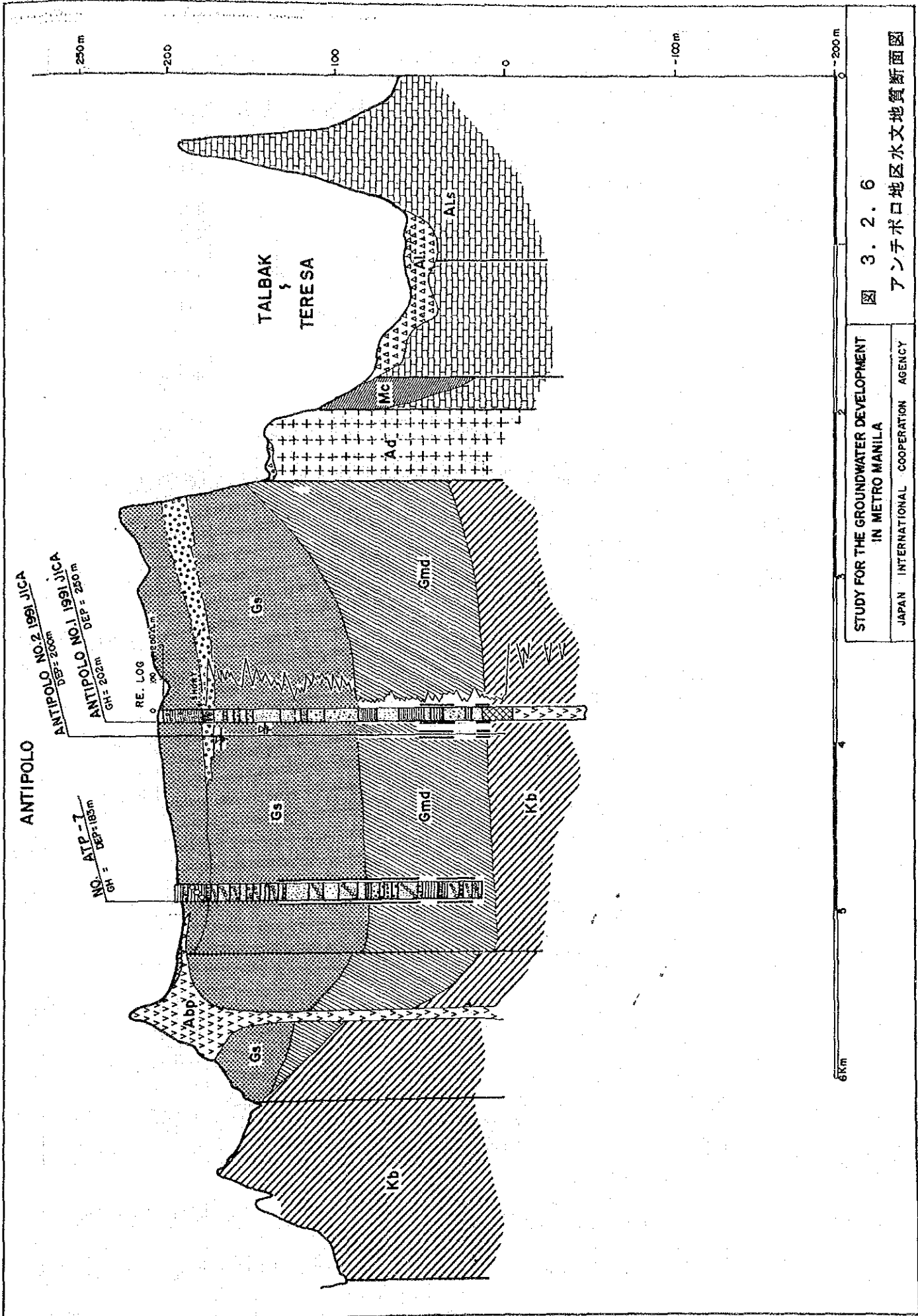
STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 2. 3

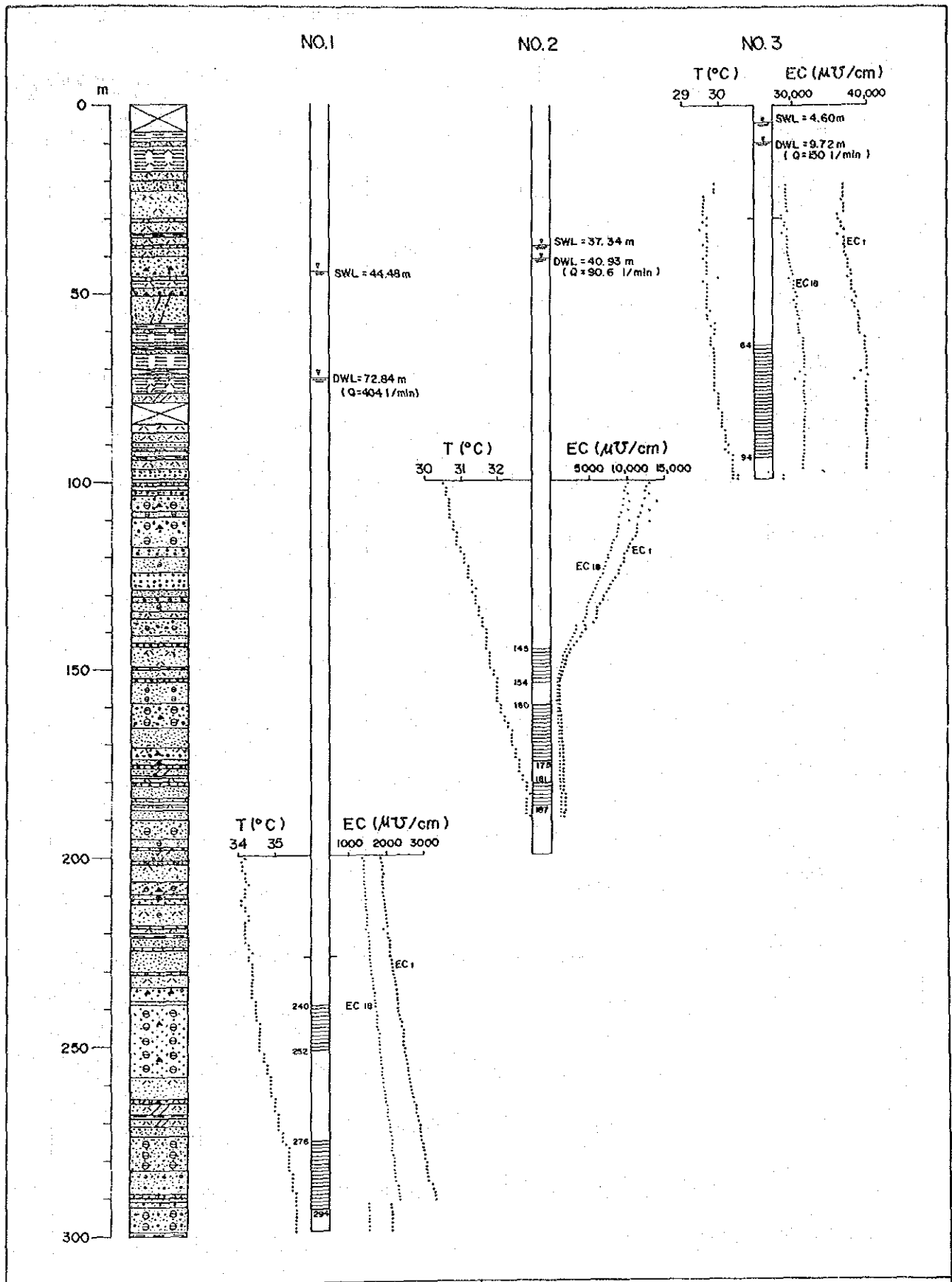
調査地域の地質概要





STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

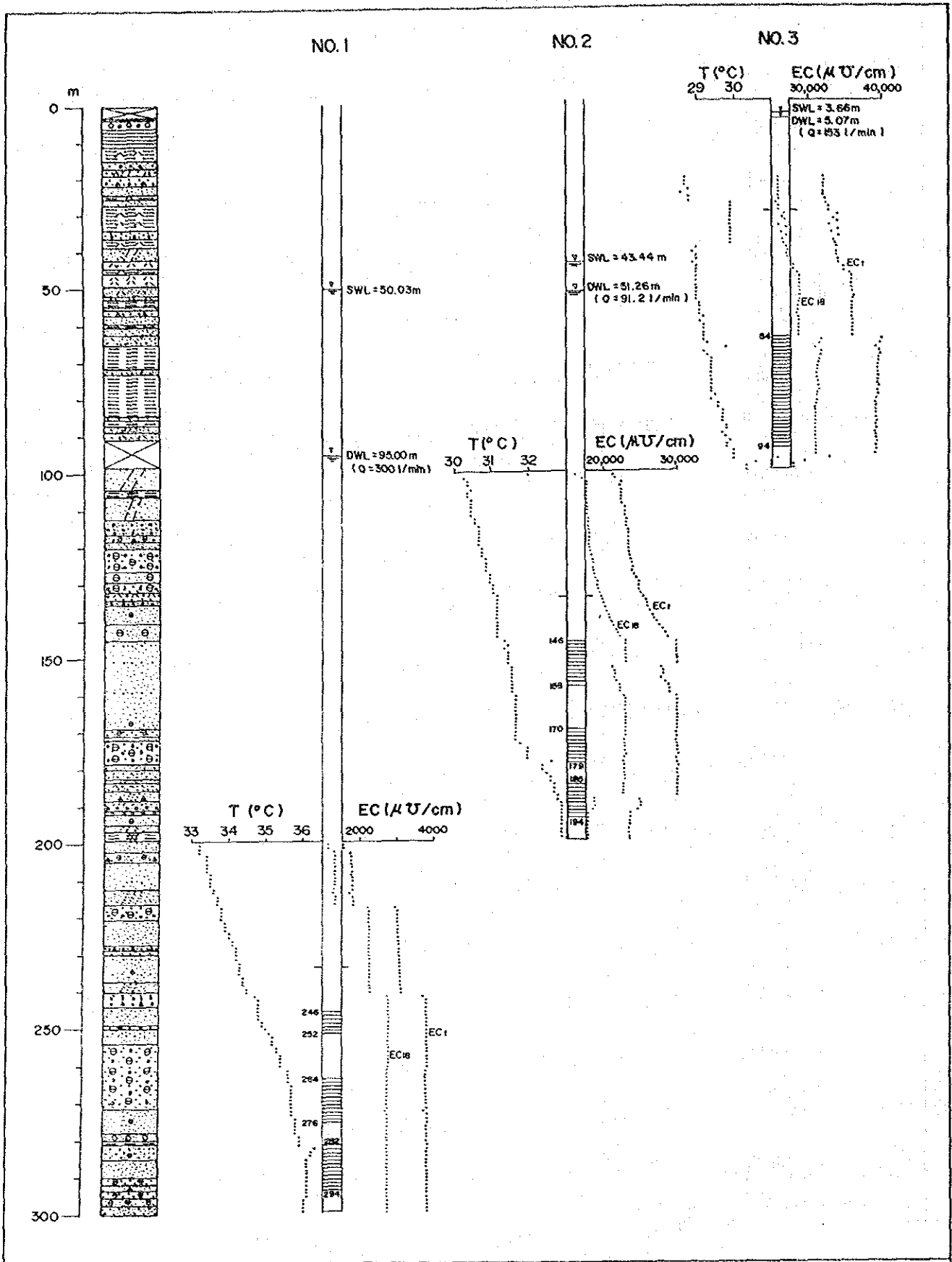
図 3. 2. 6
アンチポロ地区水文地質断面図



STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

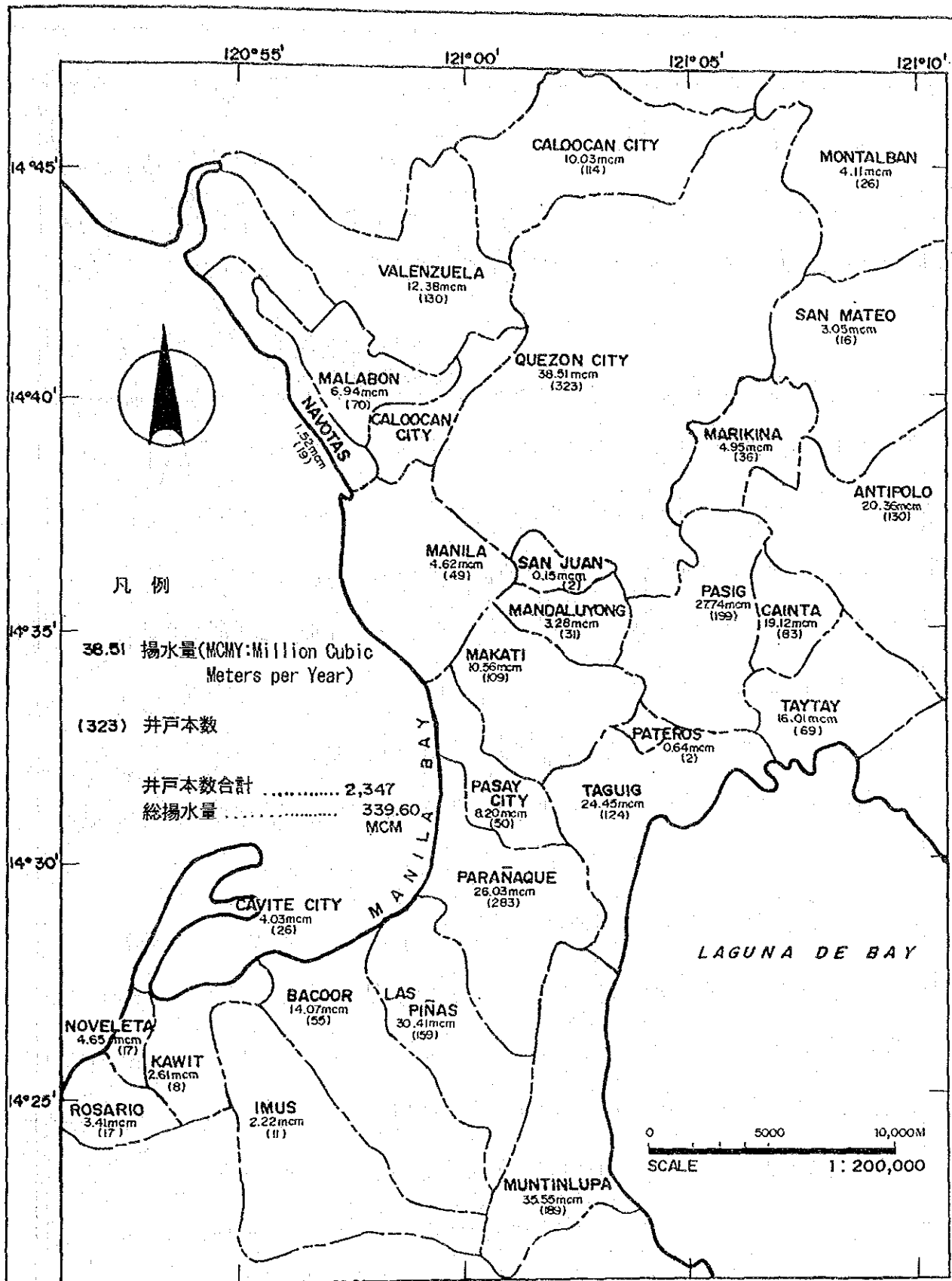
図 3. 2. 8 (1)
ラスピニャス JICA 観測井 (NO.1)
の深度別水位と水質



STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 2. 8 (2)
ラスピニャス JICA 観測井 (NO. 2)
の深度別水位と水質

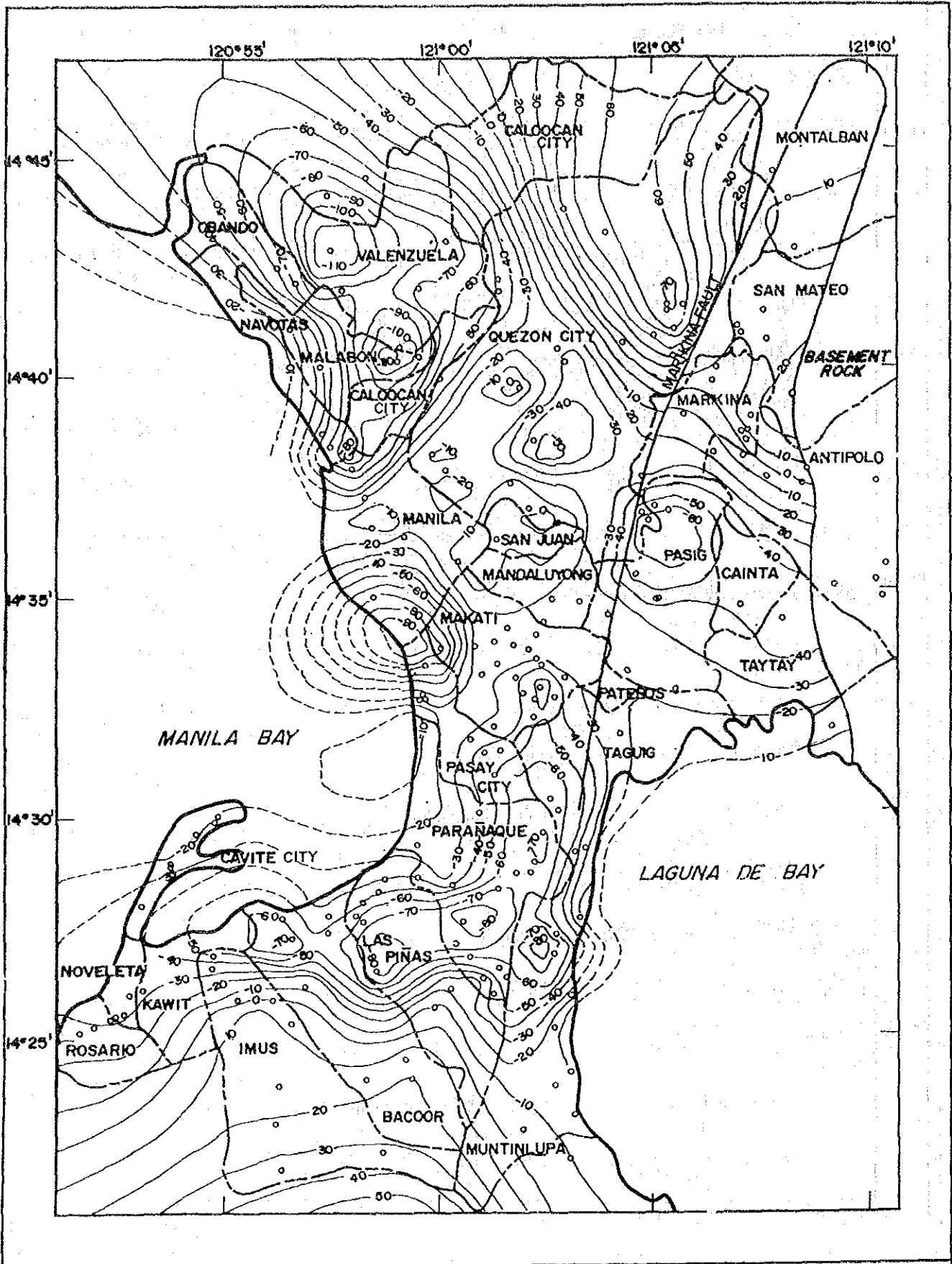


STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 3. 1

揚水量分布図 (1990年)

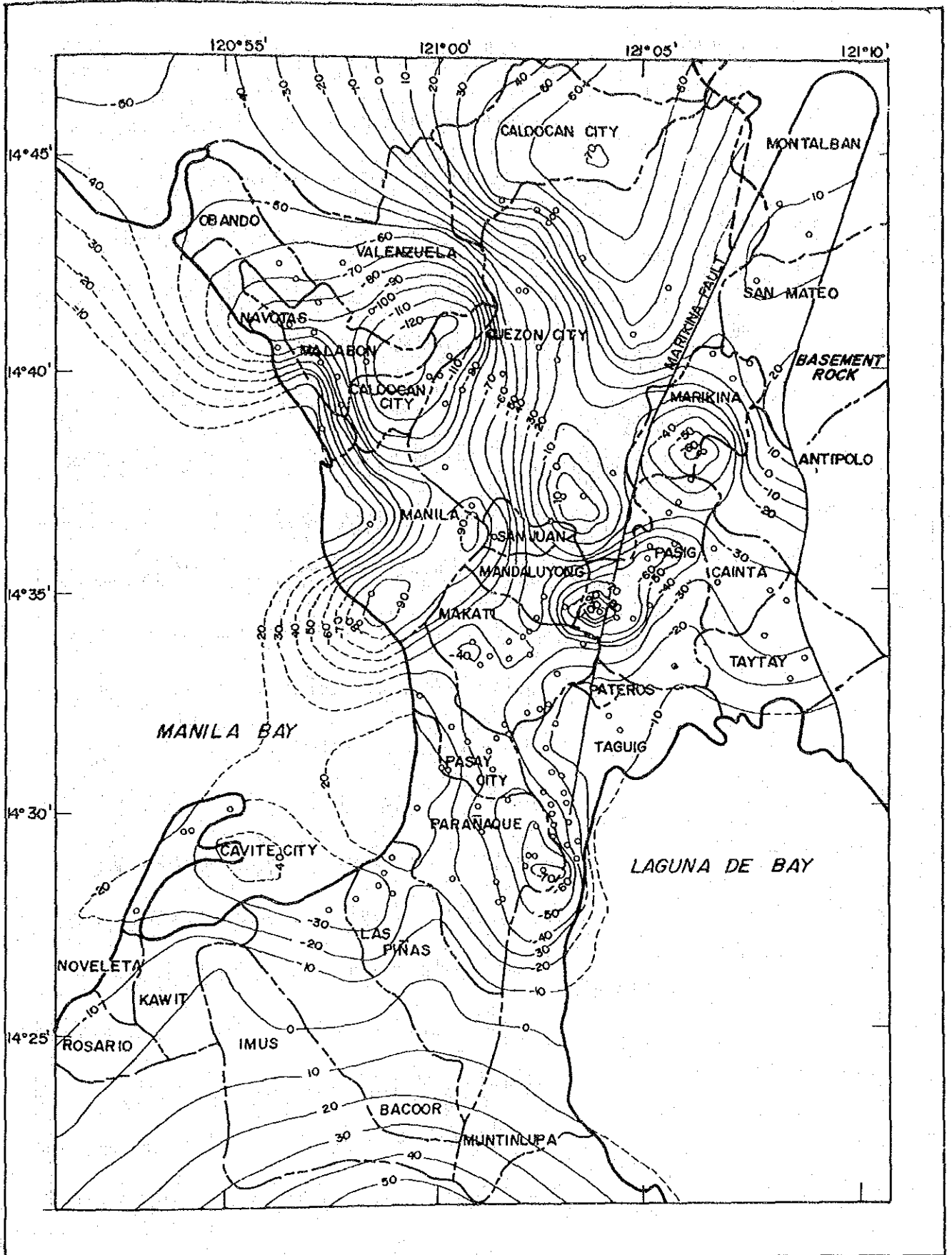


STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

図 3. 4. 1 (1)

1990年地下水コンター

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

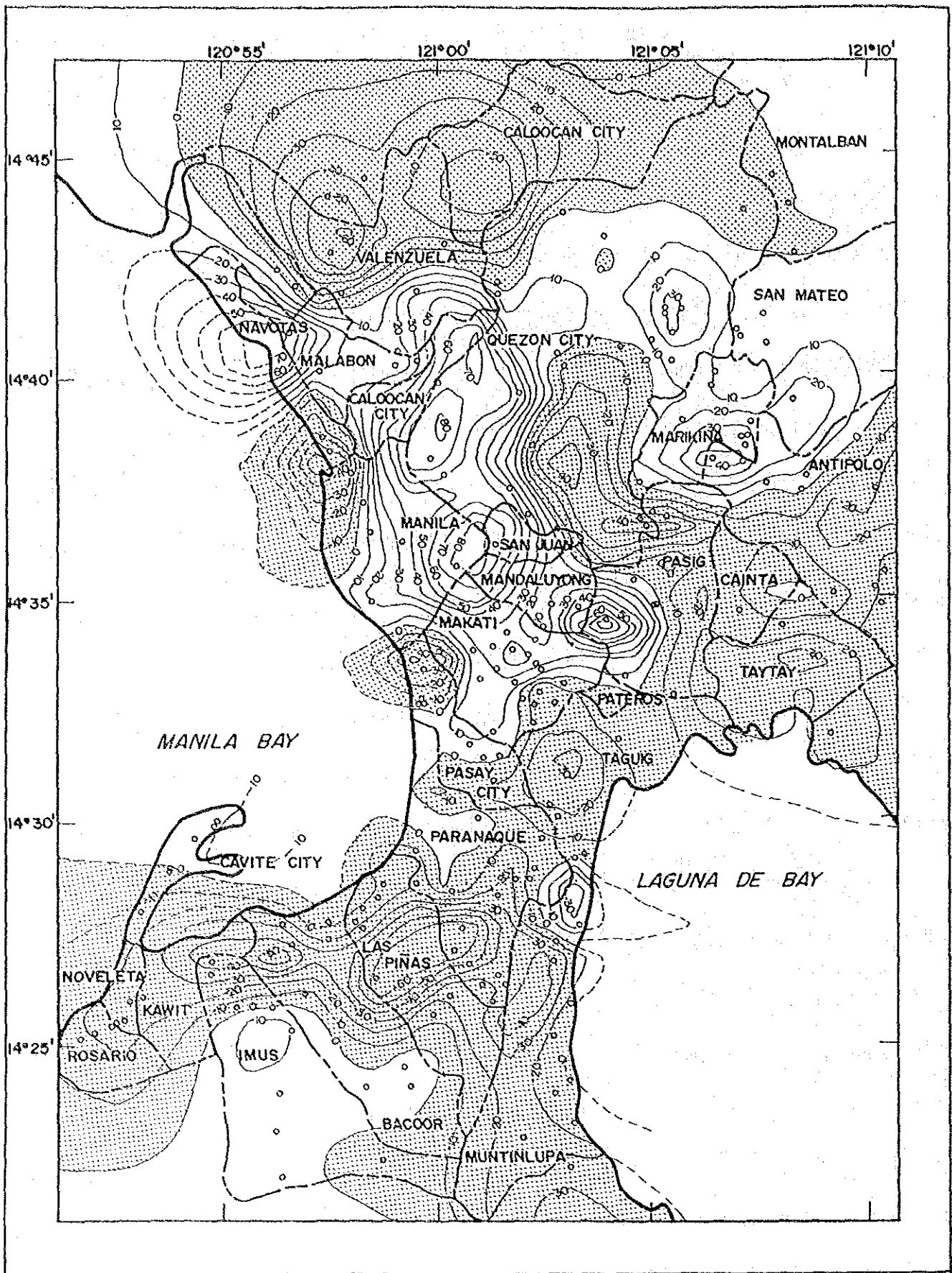


STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 4. 1 (2)

1981年地下水コンター

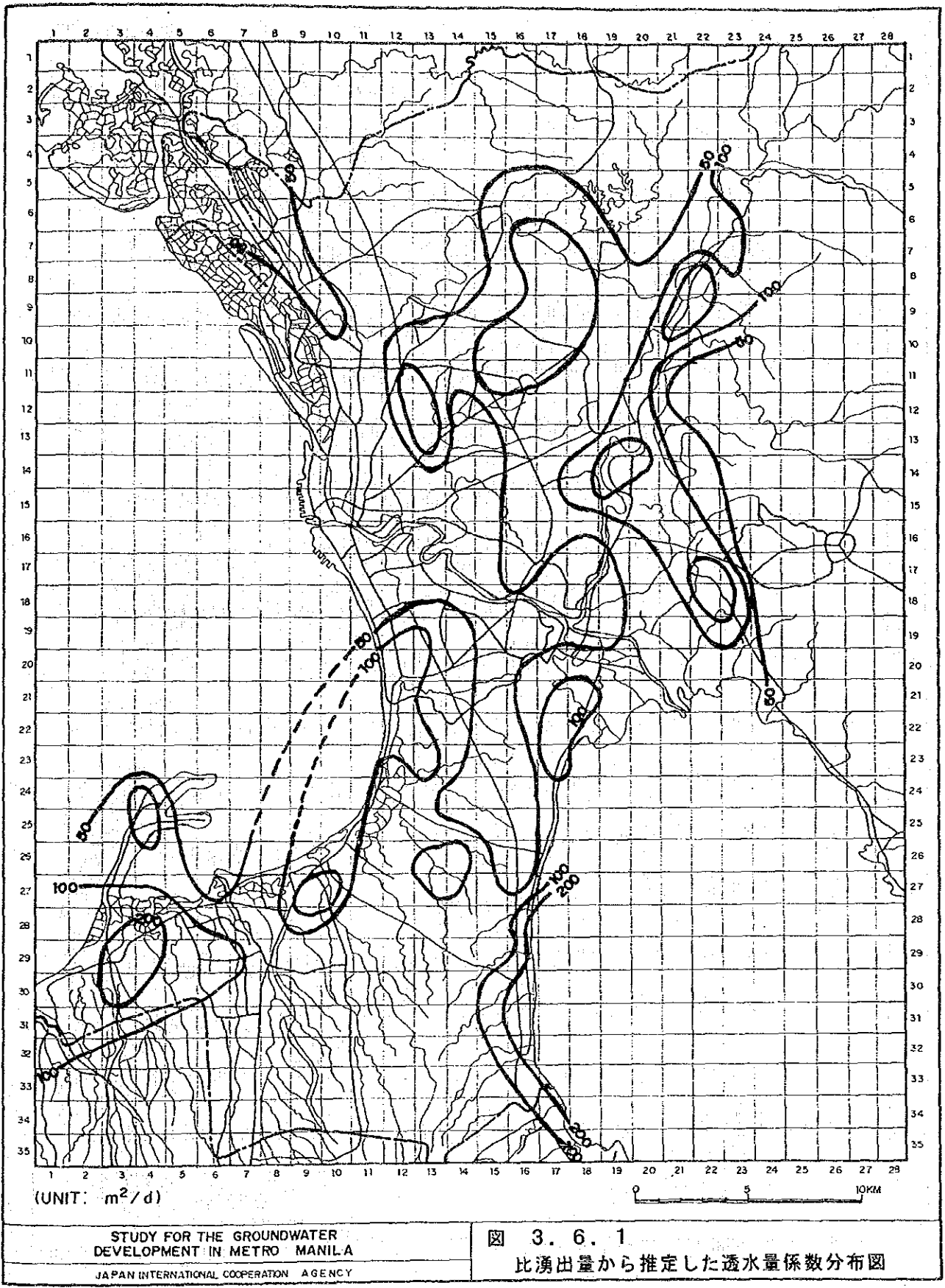


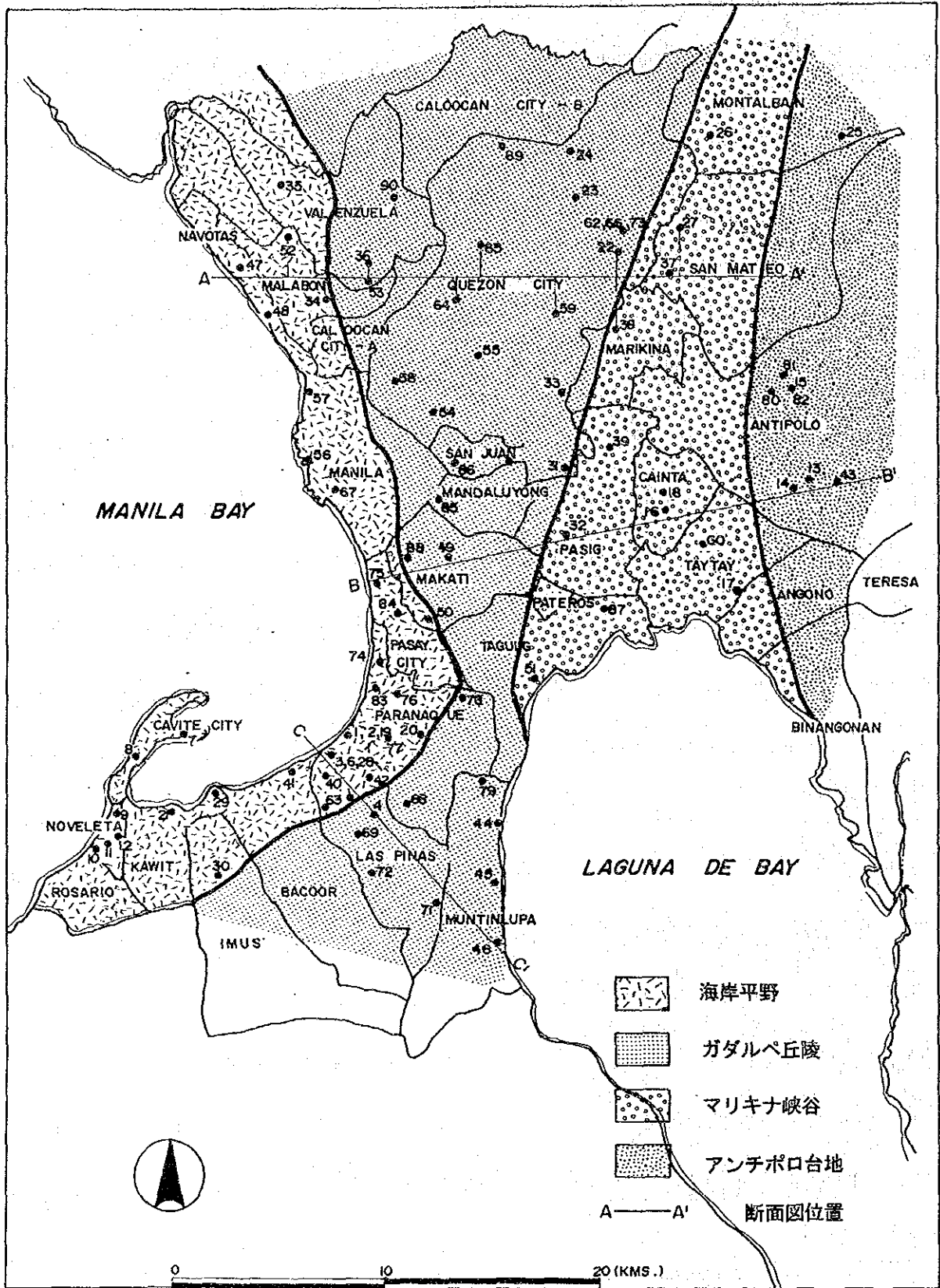
STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

图 3.4.1(3)

1981年—1990年地下水位变化



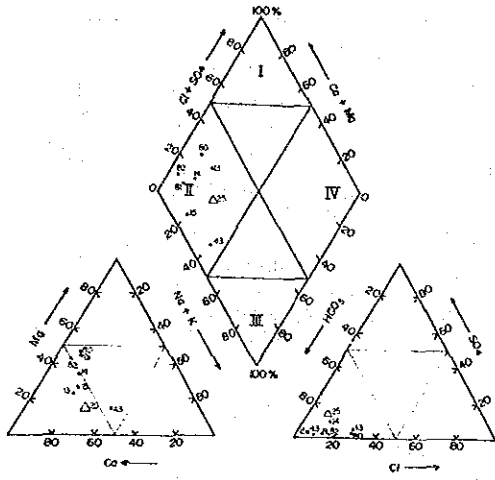


STUDY FOR THE GROUNDWATER
DEVELOPMENT IN METRO MANILA

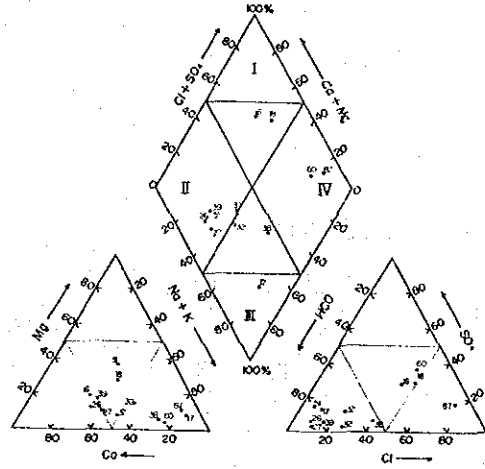
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 7. 1

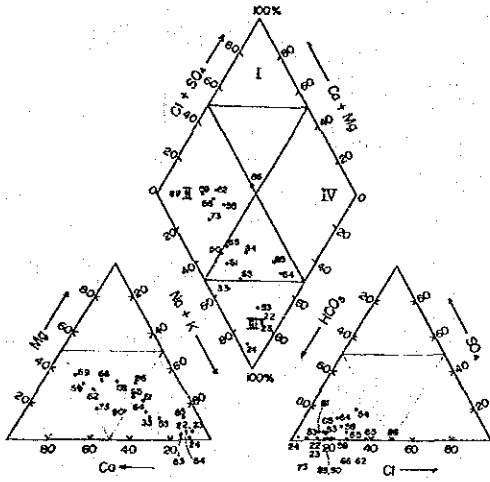
水質分析試料採取地点



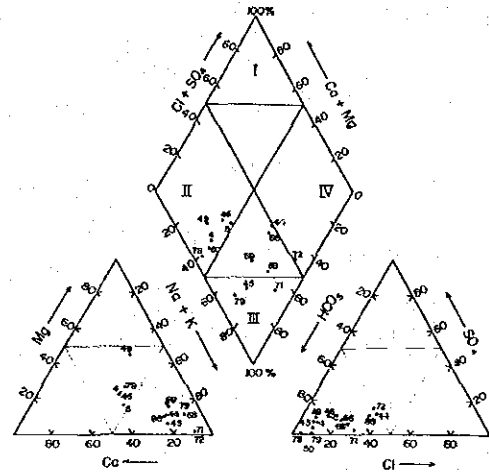
アンチポロ



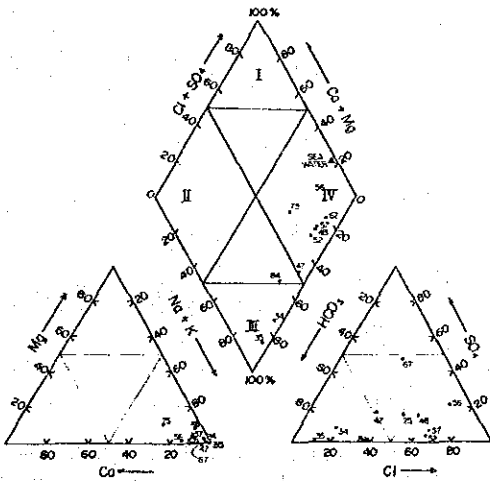
マリキナ峡谷



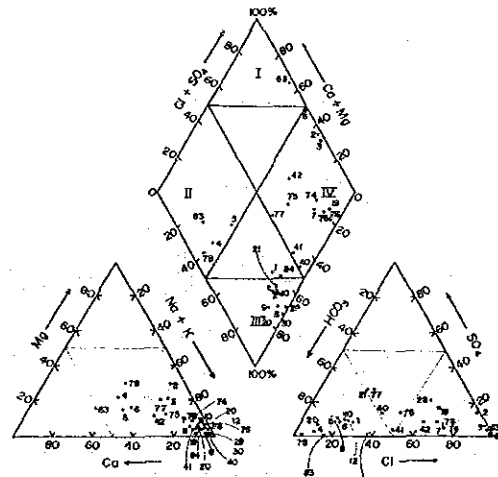
北部ガダルペ丘陵



南部ガダルペ丘陵



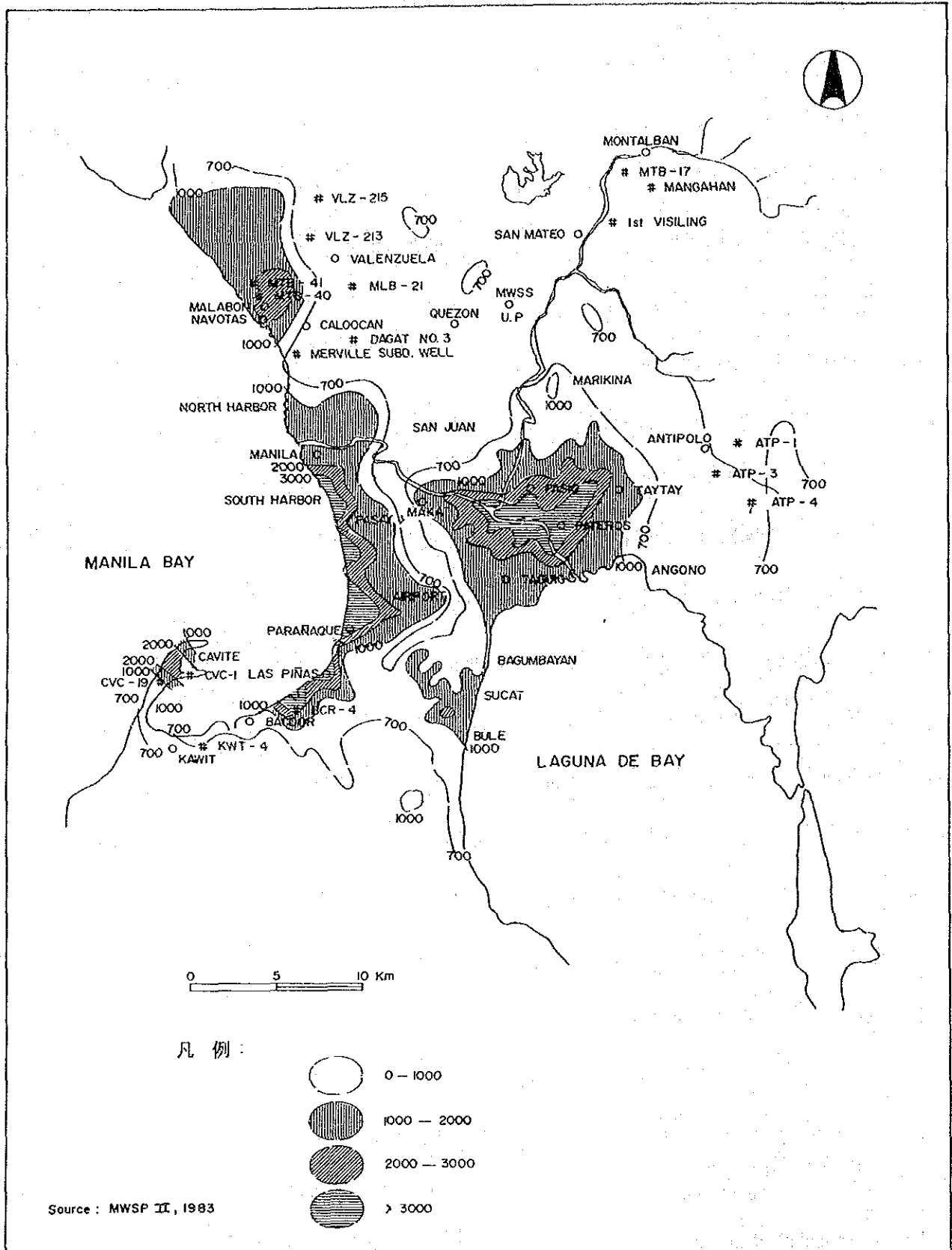
北部海岸平野



南部海岸平野

図 3. 7. 2

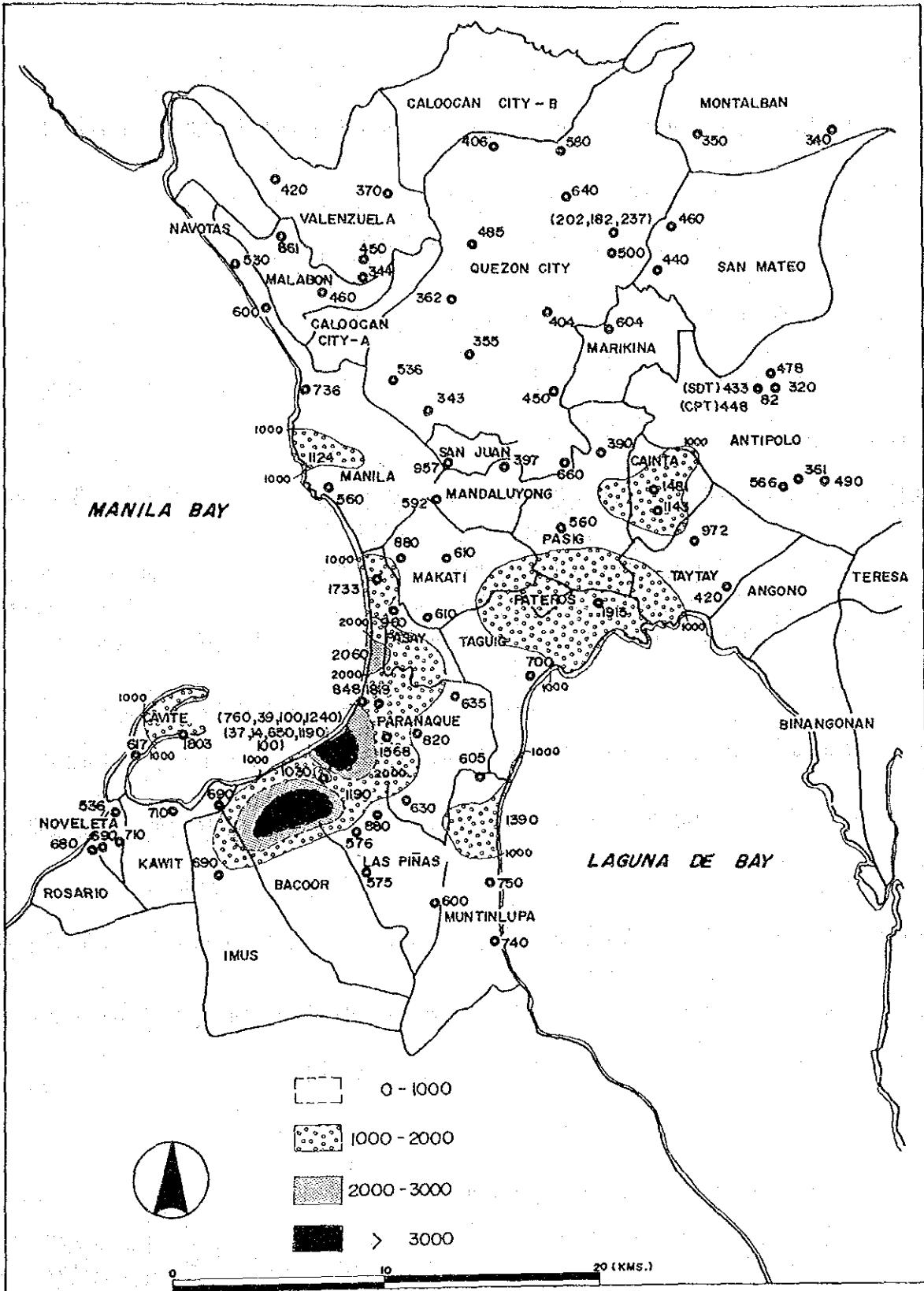
トリリニアダイアグラム



STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT
IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 8. 1 (1)
電気伝導度の分布 (1)



STUDY FOR THE GROUNDWATER DEVELOPMENT IN METRO MANILA

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 3. 8. 1 (2)

電気伝導度の分布 (2)

4. 地下水データベース

マニラ首都圏の地下水関連資料を保存・管理し、MWSSの地下水開発・保全計画に当たって効果的に利用することが可能になるように、データベースを作成した。

データベースは次の5種類である。

- 1) 井戸台帳
- 2) 気象資料
- 3) 水文資料
- 4) 水文地質資料
- 5) 関連文献

井戸台帳はMWSS管理井と民間井戸資料からなり、それらの位置、所有者、井戸深度、口径、ポンプ、スクリーン、水位、揚水量などの詳細が記載されている。

気象資料は各観測所の位置、観測期間、降水量、気温、蒸発量、湿度、風速、日照時間（日、月、年）が入力されている。

水文資料は、各水文観測所の位置と水位・流量（日、月、年）および今回調査の一斉測水資料（湧泉及び河川流量）が入力されている。

水文地質資料は調査期間中に測定された、地下水位、水質、揚水試験記録、帯水層定数が入力されている。

文献資料は、マニラ首都圏における地下水開発調査レポート、地下水調査・研究論文のタイトル、著者及び要旨が記載されている。

5. 井戸リハビリテーション

5. 1 MWSS管理井の現状

MWSSは1991年現在258本の深井戸施設を所有しているが、報告によればこの内52本はすでに廃棄されている。残り206本のうち稼働中の井戸は131本、なんらかの理由により非稼働の井戸が75本である。

現地観察によると、深井戸の状態は、「良好」、「損傷」、「待機」、「その他」の4種類に区分できる(表5. 1. 1)。

「良好」：井戸は良好な条件下で稼働している。

「損傷」：井戸は、塩水侵入、汚水侵入、井戸側壁陥没、枯渇、ポンプまたはモーター故障のいずれかにより、損傷をうけている。

「待機」：MWSSのリハビリテーション計画により待機中。あるいは地域にすでに十分な表流水の供給が行なわれている。

「その他」：理由が明確ではないが、非稼働または廃棄された井戸

MWSSが現在稼働中とした131本のうち32本は「損傷」または「その他」の理由より実質的には非稼働の状態にあり、良好な状態で稼働中の井戸は99本である。

5. 2 詳細調査

リハビリテーションの方法を検討するため、「損傷」に分類された稼働および非稼働の井戸28本のうち16本について、揚水試験を含む詳細調査を行なった。その結果、リハビリテーション試験施工の対象として7本の井戸を選定した。また、残り9本の井戸の内6本はポンプ能力を向上させることにより揚水量を回復できることが分かった。他の3本の内1本は塩水侵入のためリハビリテーションは不可能であり、2本は今後さらに検討する必要がある。

5. 3 リハビリテーション試験施工

井戸損傷の実態を解明するとともにリハビリテーションの技術仕様を確立することを目的として、詳細調査で選定した7本の井戸のうち5本について試験施工を実施した(表5. 3. 1)。

リハビリテーション試験工事の標準作業は下記項目を行なった。

- (1) 準備・仮設
- (2) 既存揚水設備引き揚げ
- (3) 井戸深度および水位測定
- (4) 既存揚水設備の点検・整備
- (5) 試験用揚水設備の挿入・設置
- (6) 第1回揚水試験
- (7) サージング・ベ어링及びエアリフト揚水
- (8) 第2回揚水試験
- (9) 既存揚水設備の設置
- (10) 撤去

既存揚水設備の引き揚げ後、堆砂量測定と電気伝導度・水温検層を行なった。

ナガNo. 2では、揚水試験中にスクリーンからの地下水流入量の測定を行なった。また、コゲヨNo. 6、IBP及びナガNo. 2ではボアホールテレビカメラによりケーシングとスクリーンの状態を観察した。

試験施工の結果、スムロンとコゲヨNo. 1の比湧出量と井戸損失係数は著しく改善されリハビリテーションの効果が顕著であった。ナガとコゲヨNo. 6ではこれらの定数はほとんど変化がなく、効果は認められなかった。(表5. 3. 2) IBPはケーシングが損傷している上、揚水量が極めて少ないので修復は不可能と判断し、井戸の廃棄を勧告した。

表 5. 1. 1 MWSS井戸の現況

(単位：本)

井戸の現況	状 況			
	稼働井戸	非稼働井戸	廃棄井戸	合 計
良 好	99	0	0	99
損 傷				
ポンプ又はモーター故障	13	9	3	25
塩水浸入	2	0	17	19
井戸側壁陥没	1	0	14	15
汚水浸入	3	0	5	8
枯 渴	0	0	3	3
小 計	19	9	42	70
待 機				
待 機	0	16	0	16
リハビリテーション計画	0	25	0	25
十分な表流水の供給あり	0	23	6	29
小 計	0	64	6	70
その他	13	2	4	19
合 計	131	75	52	258

表 5. 3. 1 リハビリテーション試験施工井戸一覧

井戸名	自治体	状況	深度	ケーシング位置 及びサイズ		スクリーン 位置		既設ポンプ		テスト用 ポンプ		リハビリテーショ ン後のポンプ		
				位置	位置	位置	容量	位置	仕様	位置	仕様			
Cogeo Antipolo No.1	Antipolo	Inactive	91.44m	0m-9.75m	8"	64m-87.78m	66m	7.5 Hp	78m	SP8-21	3"	Existing		
				9.75-91.44	6"							7.5HP	78m	Pump
Sumulong	Taytay	Inactive	202.69	0-80.77	8"	Unknown	75	30	78m	30 HP	NO	No Pump		
				80.77-202.7	6"						120m	10 HP		Installed
Naga Road No.2	Las Pinas	Active	243.84	0-243.84	10"	103.63-121.91	78	30	120m	SP45-12	3"	Existing		
						128.01-158.49				102m	30HP	102m	Pump	
						164.59-170.68							OO 150	Installed
						182.88-213.36								
IBP (Congress) No.3	Quezon City	Inactive	202.69	0-80	10"	87-99	120	20	108	20 HP	NO	No Pump		
						80-202.69				8"	103-122		9 stage	Installed
											129-144		OO 140	
											151-166			
				173-197										
Cogeo Antipolo No.6	Antipolo	Inactive	117.35	0-91.44	8"	91.44-177.35 bore hole	99	20	90	20 HP	NO	No Pump		
									9 stage		installed			
									OO 140					

表 5. 3. 2 試験施工結果一覧表

	Sumulong Taytay	I B P No. 3	Cogeo ATP No. 1	Cogeo ATP No. 6	Naga Road No. 2
井戸深度 (m)	202.68	202.69	91.44	117.35	243.84
堆砂量 (m)	5.68	32.69	4.44	11.35	0
静水位 (m)	58.00	39.30	7.25	11.50	55.40
電気伝導度・水温検層					
電気伝導度 (uS/cm)	684-961	92-144	335-390	316-342	517-9585
水温 (°C)	30.2-30.7	27.7-28.1	25.8-27.1	26.4-27.5	30.0-34.2
第1回揚水試験					
揚水量 (m ³ /d)	285	(25.9)	285	294	544
水位降下 (m)	30.00	(70.7)	48.80	68.40	17.70
比湧出量 (m ³ /d)	9.50	(0.37)	5.84	4.30	30.70
透水量係数 (m ² /d)					
連続-タイス法	14.6	-	2.83	1.33	36.9
連続-ヤコブ法	15.2	-	5.27	7.19	31.1
回復-ヤコブ法	11.4	-	32.6	19.8	29.2
貯留係数	7.65×10^{-3}	-	1.19	2.26	3.18×10^{-1}
帯水層損失係数 (day/m ²)	5.40×10^{-2}	-	8.00×10^{-3}	0.0	3.2×10^{-2}
井戸損失係数 (day ² /m ³)	1.65×10^{-1}	-	2.55×10^{-1}	8.0×10^{-1}	6.2×10^{-6}
第2回揚水試験					
揚水量 (m ³ /d)	328	(54.4)	285	294	518
水位降下 (m)	25.10	(70.70)	19.50	64.20	17.07
比湧出量 (m ³ /d)	13.07	(0.77)	14.60	4.58	31.9
透水量係数 (m ² /d)					
連続-タイス法	14.6	-	4.37	1.34	36.6
連続-ヤコブ法	4.10	-	11.1	4.88	31.1
回復-ヤコブ法	44.8	-	17.4	15.2	31.9
貯留係数	1.03×10^{-1}	-	2.05	3.32	3.90×10^{-1}
帯水層損失係数 (day/m ²)	2.6×10^{-2}	-	2.6×10^{-3}	0.0	2.95×10^{-2}
井戸損失係数 (day ² /m ³)	1.43×10^{-1}	-	2.10×10^{-1}	7.35×10^{-1}	6.2×10^{-6}