

4.2 気候

対象地域の気候は、熱帯サバンナに属し、年間を通じて平均気温は25.6℃から28.8℃程度である。

図4-2-1には、湖畔側のA.Cサンディーノ観測所と、カラソ台地側のマサテペ観測所について、月別平均温度と降雨量を示す。

雨期はおよそ5月から10月、乾期は11月から4月に区別される。

図4-2-2は、対象地域の観測所位置及び等降雨量線図であり、マナグア湖南岸付近が最も少なく、1100mm程度であり、山側に向かうに従って増加し、マサテペ付近で、1500mm程度である。

蒸発は、A級蒸発皿で年間1800mm～2700mm程度であり、蒸発散のポテンシャルは高い。

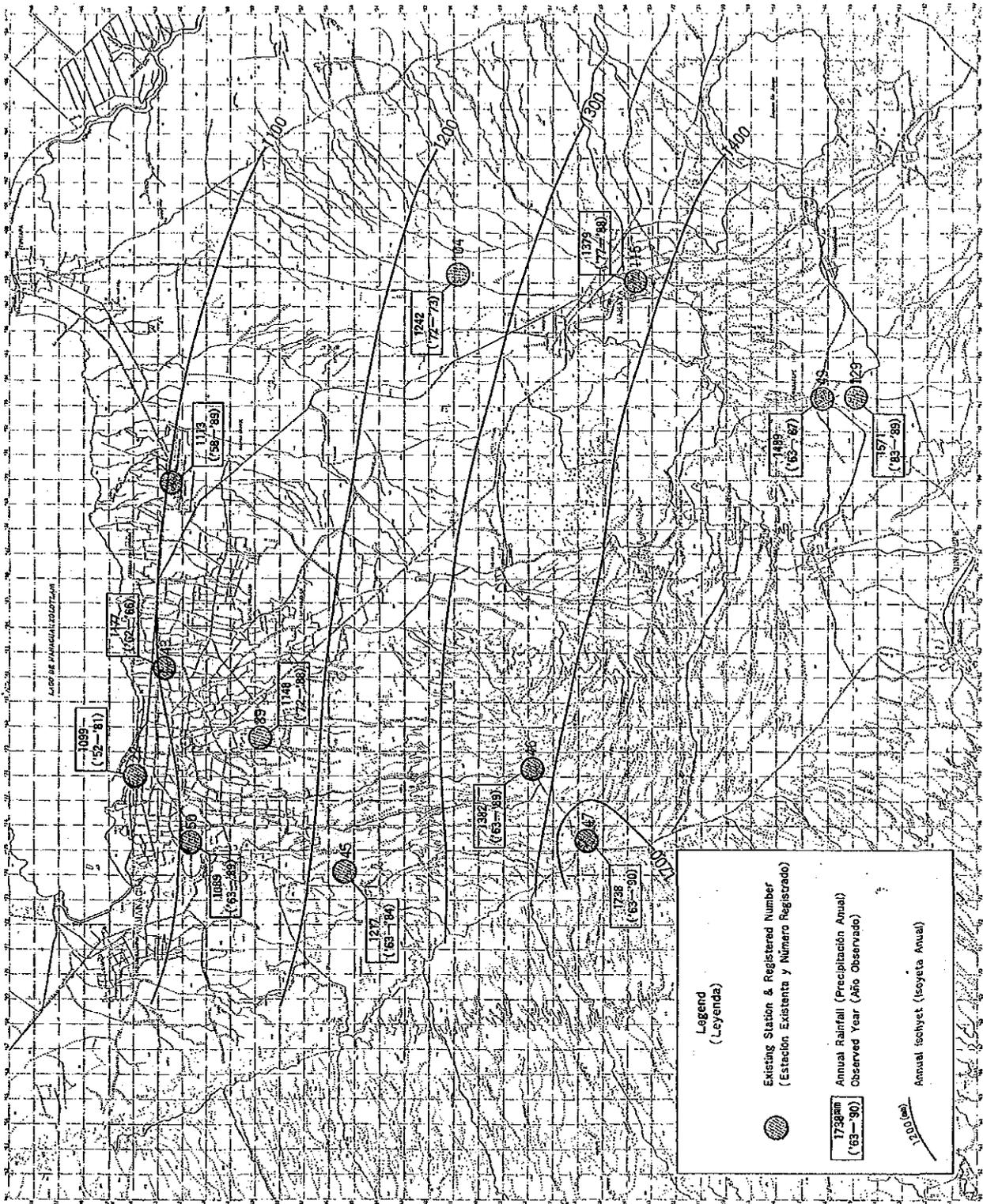


図 4. 2. 2 気象観測所と等雨量線図

4.3 表流水

対象地域の水系は、山側斜面から直接マナグア湖へ向かうⅠ、Ⅱ流域（342Km²）とマサテペ、ラ・コンセプションを含み、マサヤ湖を經由して北東のモクワナ川へと向かうⅢ～Ⅴ流域（538km²）とに区分される。

各、流域図面	(Km ²)
Ⅰ 流域	120
Ⅱ 流域	222
Ⅲ 流域	136
Ⅳ 流域	183
マサヤ湖流域	219
合 計	880

地域には、大小5つの湖があり、ニカラグア第2の面積をもつマナグア湖は市の北側に位置する。この湖には南側流域からの表流水・地下水がすべて流入する。東にあるティピタパ川は、中米最大の湖であるニカラグア湖とつながっているが、水位の関係で実際に流れるのはまれである。

対象地域の北西部に位置するアソソスカ湖は、歴史的マナグア市の飲料水を供給してきた水源であり、現在でも30%以上を占めている。

調査地域東北部、飛行場の東側には、大規模な湧水地帯がある。湧水地点の標高はおおよそ50～60mである。この湧出量の総計がマサヤカルデラ等を含めた上流域に対するおおよその基底流量と考えられる。モクワナ川は、湧水を源とする唯一の通年河川であるが、1991年～1992年の河川水位観測を実施した結果、河川の流量はおおよそ1.0～1.40m³/secであった。加えて、乾期・雨期に実施した一年間のモクワナ川の流量観測結果を考慮すると、湧水池帯全体の流出量は少なくとも1.35m³/secと考えられる。

地域内の河川はこのモクワナ川を除くと、他は完全な季節河川であり、それも雨期に上流域での降雨を受けて、2～3時間で流出するのがほとんどである。

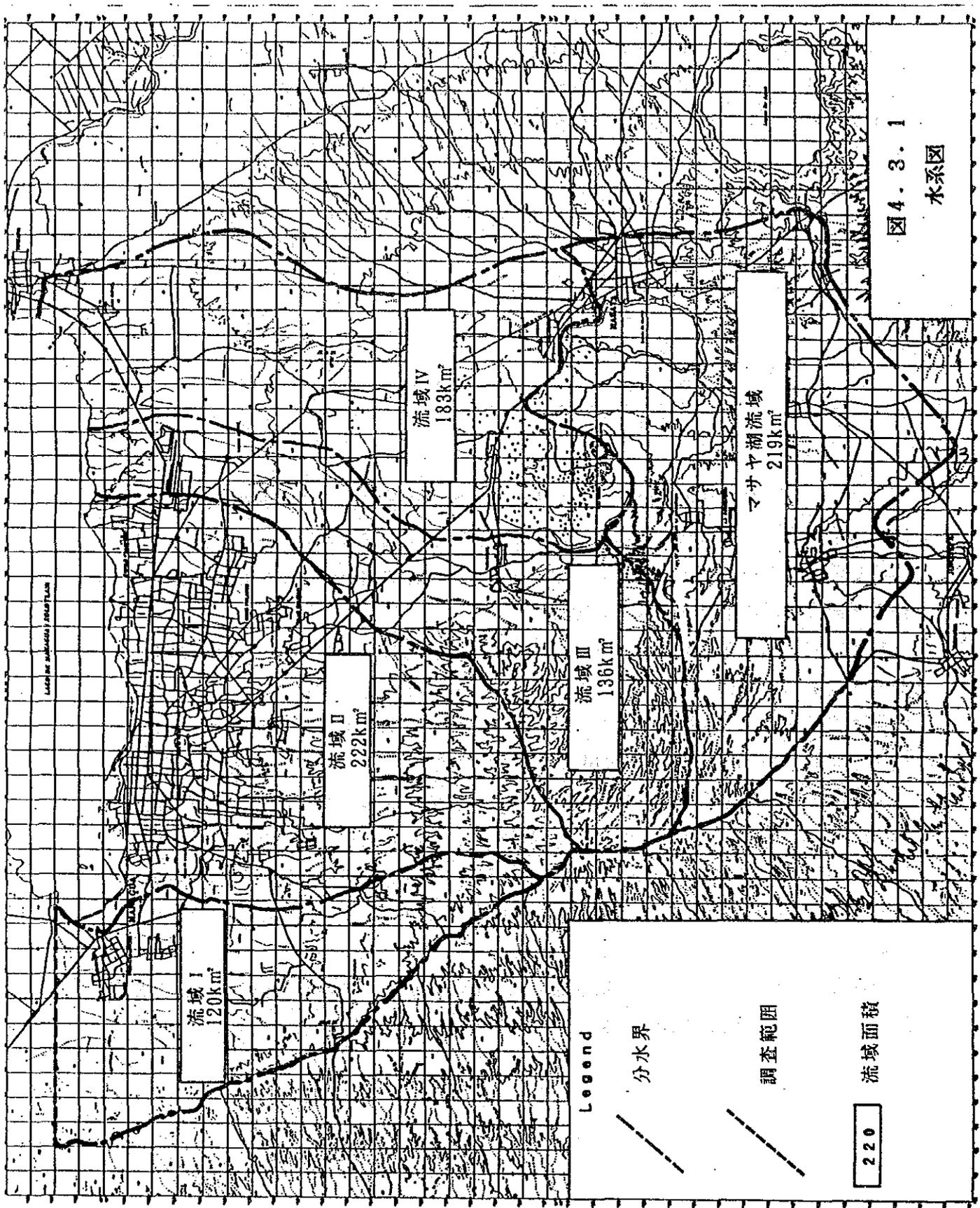


図4.3.1
水系図

4. 4 地下水位

(1) 対象地域の地下水位標高

観測計設置による継続観測と雨期乾期の一斉観測を実施し、対象地域の地下水位を検討した。地域全体の地下水位標高を図4-4-1に示す。対象域西部では、基本的に、すりばち状の流域からマナグア湖へと向かう流れであるが、アソソスカ湖での揚水が大きい為、周辺からこの方向へと流れを変えていることがわかる。

東部は、地域西・南部の流域からマサヤ湖へ向かう東向きの流れがマサヤカルデラを経由して流路を北へと変える。前述のとおり標高50~60mで観察されるサバナグランデ低地での湧水はこの末端である。

(2) マナグア湖とアソソスカ湖の水位

アソソスカ湖は前述したとおり、マナグア市の水源として重要な役割を果たしている。しかし、1970年代からの揚水により水位が低下し続けており、1990年代に入ってから減産にもかかわらず、マナグア湖の36.5m（海拔、1992年）に対し、35.0m（海拔、1992年）となっている。

図4.4.2は、1963年、1970年、1978年におけるアソソスカ湖周辺等の地下水位コンター図であるが、湖を中心に水位が急激に下がっているのがわかる。

また、図4.4.3はこの当時1966年から1977年のアソソスカ湖、マナグア湖の水位であるが、1968年から両湖の水位が逆転している。

現在マナグア湖では、湖岸の工場や市内からの生活排水による汚染が問題となっており、極端な水位の低下が続くとマナグア湖側からの汚水侵入も懸念される。更に、アソソスカ湖の北側には石油等の工場が立地し、INETERが実施した周辺既存井の水質調査によると、工場排水に起因した地下水汚染の可能性が報告され、この件からもアソソスカ湖の水位回復が重要な課題となっている。

アソソスカ湖の水位は、雨からの涵養と揚水量によるものであり、図4.4.4に示すように、1989年以降の揚水量削減により回復のきざしを見せてはいるが、ここ数年の降雨量が小さい事も相まっていまだにマナグア湖水位より低い状態である。

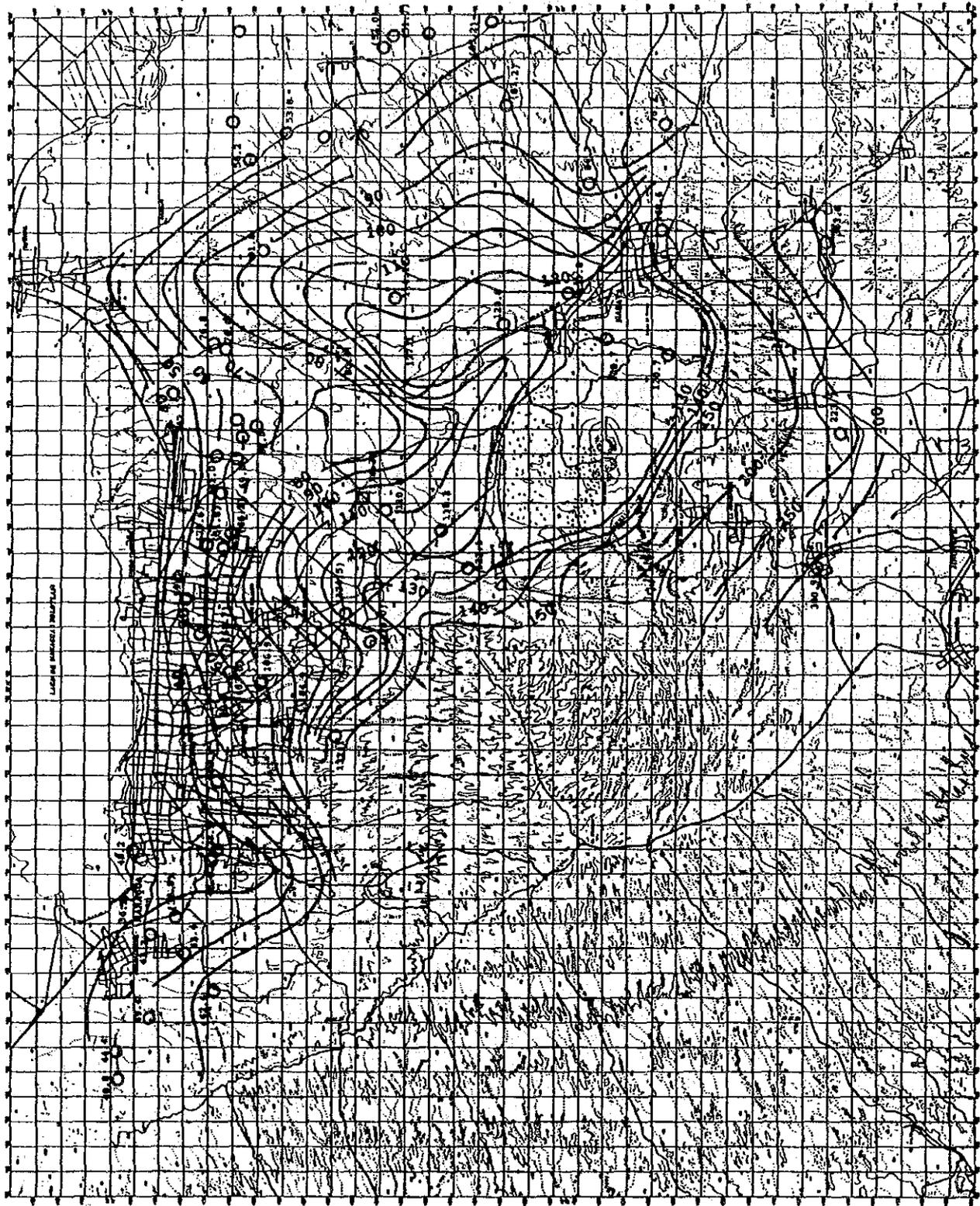
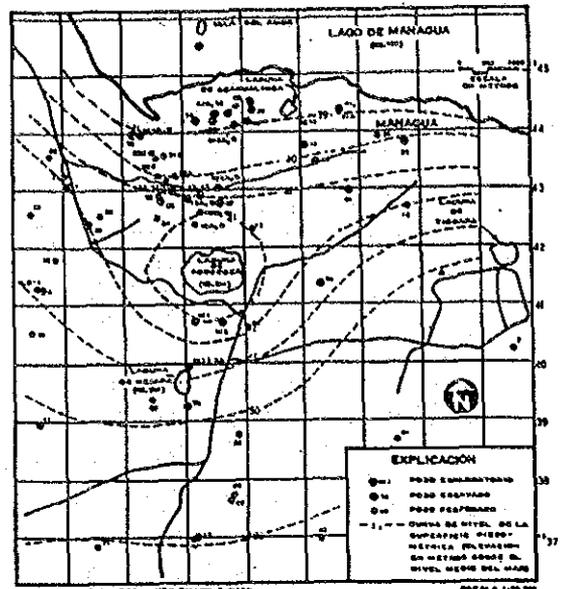
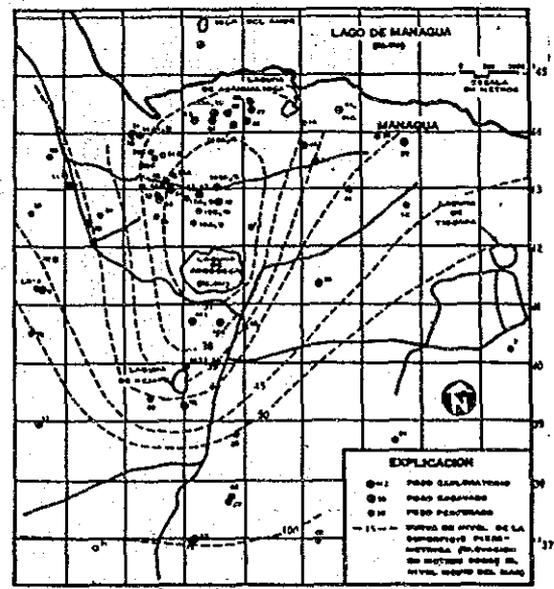


図4.4.1 等地下水水位コンター図

1963年5月



1970年5月



1978年5月

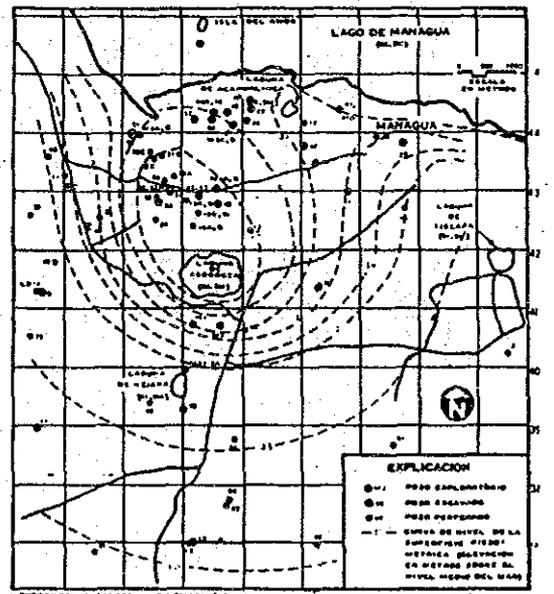


図4.4.2 1963.1970.1978年におけるアソスカ湖周辺の地下水位分布図

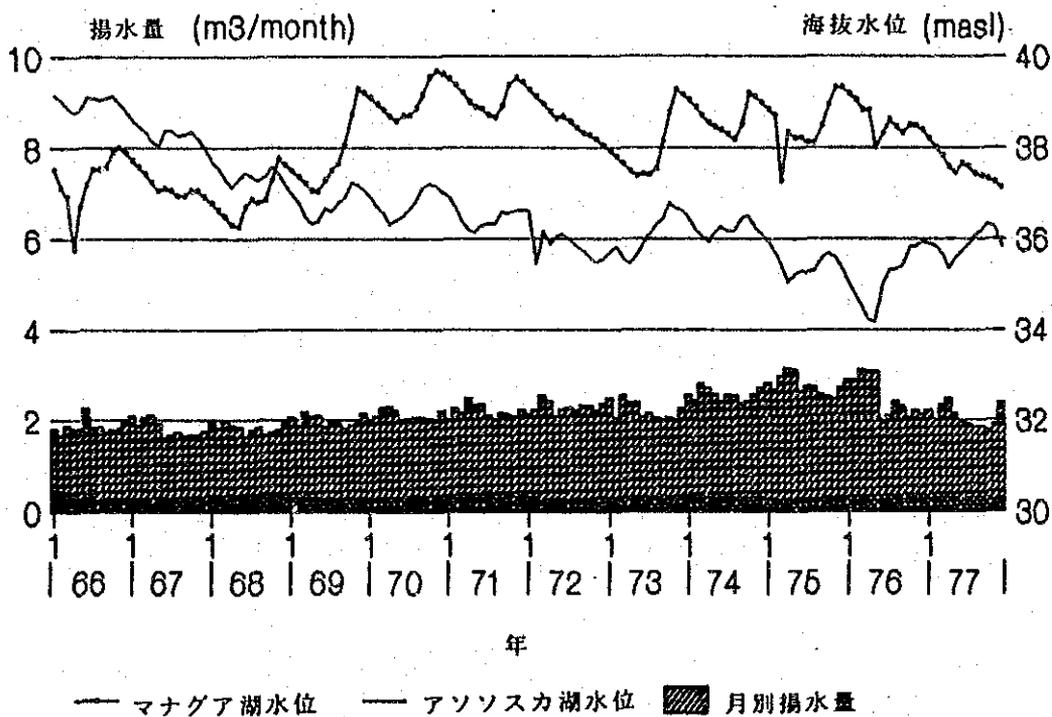
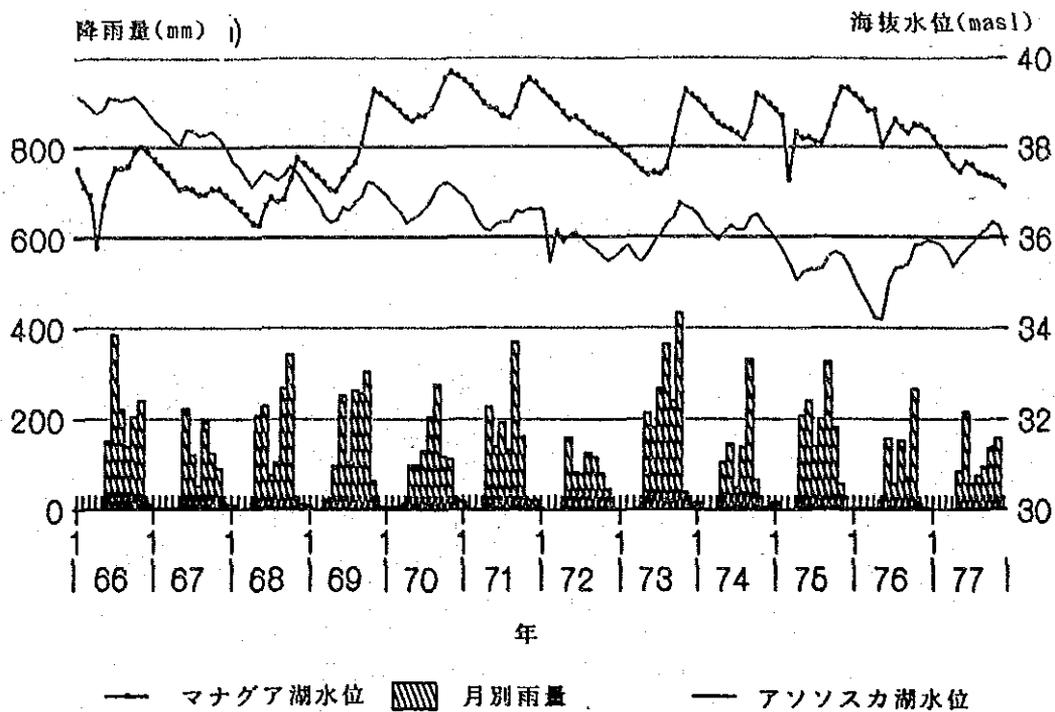


図4.4.3 マナグア湖、アソソスカ湖の水位変化

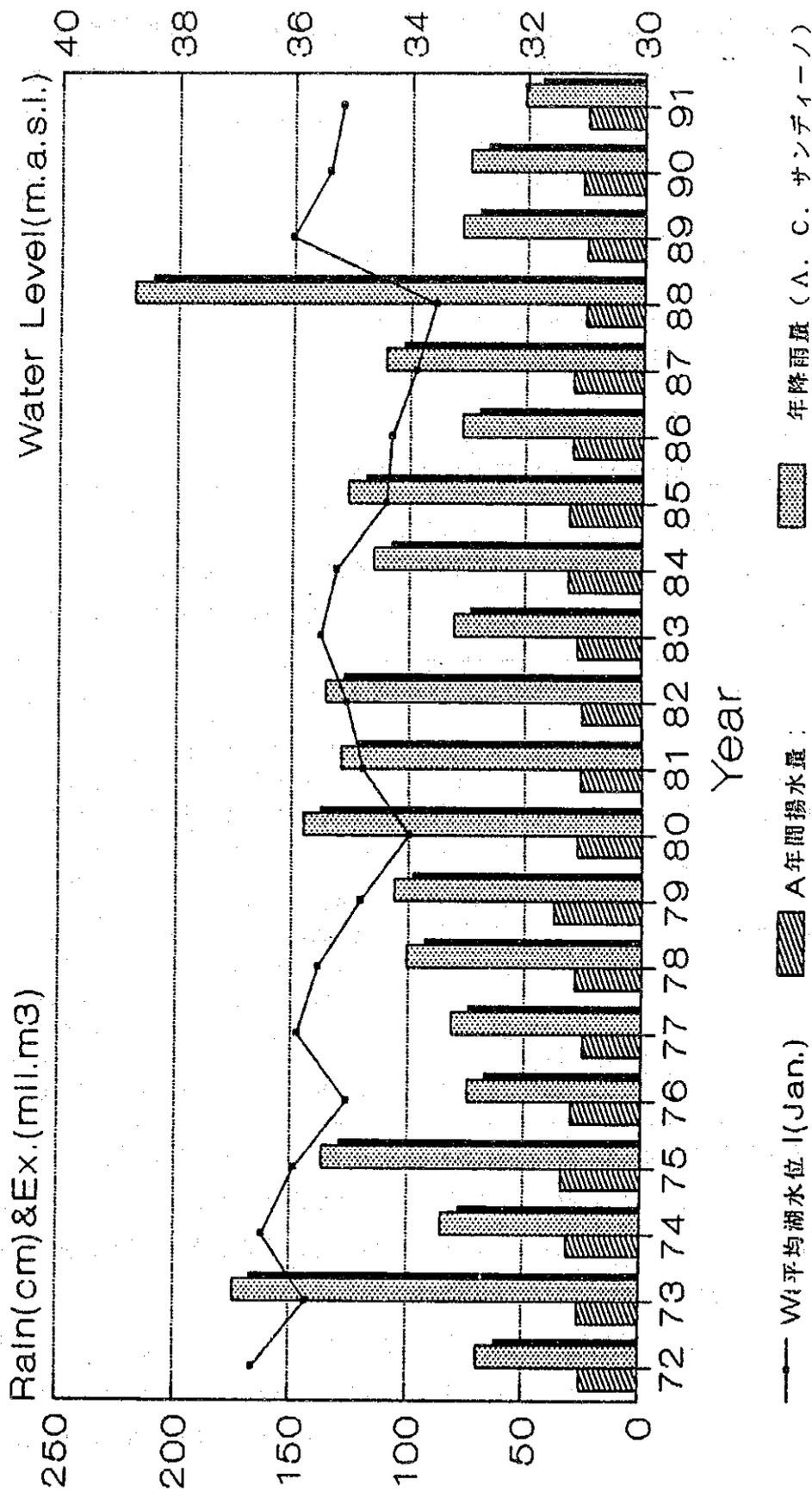


図4.4.4 アソソスカ湖水位と揚水量

4.5 地下水の利用

1991年現在での地下水利用は、大きくはINAAマナグア市地域及び地方都市による飲料水に向けて使用されており、灌漑用、工業用の占める割合は比較的少ない。

1991年における年間利用状況の概算は以下のとおりである。

単位：百万 m^3

INAA	98.0
市町村、INAA	6.6
工業用	5.88
農学用	1.24
合計	111.82

(1) INAA生産井

INAAの主な生産井における年間揚水量は、1972年から1991年の間に以下のよう
に推移している。

単位：上段 百万 m^3

下段 全体に占める%

	1972	1975	1980	1985	1990	1991
アソソスカ湖	25.10 (100)	33.90 (100)	27.20 (49)	31.09 (48)	25.94 (27)	24.00 (24)
カルロス・フォンセカ井戸群	- (0)	- (0)	20.07 (38)	21.39 (33)	20.20 (21)	21.99 (22)
サバナ・グランデ井戸群	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	4.73 (5)	5.45 (5)
ベラクルス井戸群	- (0)	- (0)	2.05* (4)	2.05* (3)	3.21 (3)	3.89 (4)
その他	- (0)	- (0)	5.14 (9)	10.12 (16)	40.82 (44)	46.69 (46)
Total	25.10	33.90	55.09	64.65	97.04	102.02

*ベラクルス井戸群の年間揚水量は、運転時間から推定したものである。

1970年代に、アソソスカ湖のみに依存していた生産が、カルロス・フォンセカ、サバナグランデ、ベラクルス等の井戸群や市内に散在する井戸へと比重が強まっている事がわかる。

地方都市での年間生産量は、1972年の1.5百万 m^3 に対して1991年では、6.65百万 m^3 になっており、この間の給水率の改善がなされていると考えられる。

工業用の生産量は、1972年当時の調査量10.90百万 m^3 に比較して5.88百万 m^3 と

およそ50%になっており、この間の工場の閉鎖や、INAA給水への切り換えによるものと考えられる。

農業用水に対しては、主に灌漑を実施しているのは、サバナグランデにある種子生産センター（CINGB）であり、灌漑面積等から推定するとおよそ1.24百万㎡程度である。

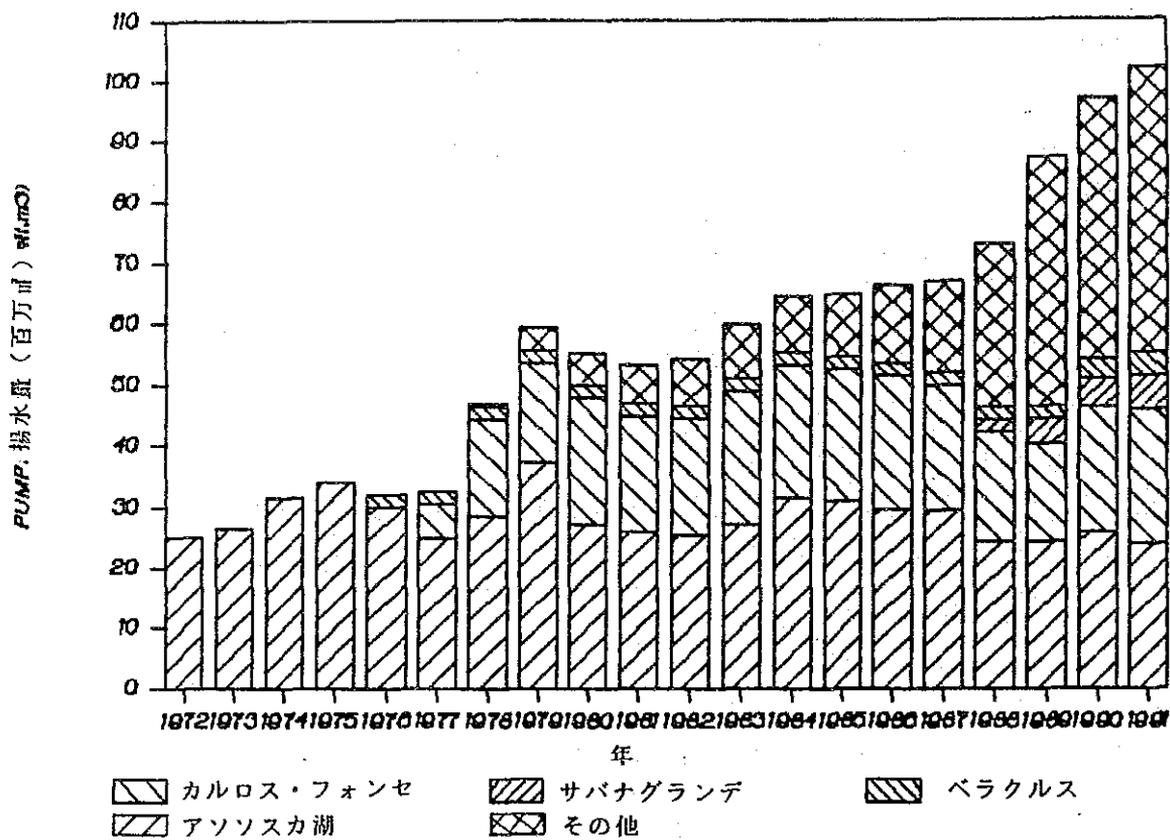


図4.5.1 1972年～1991年における年間揚水量

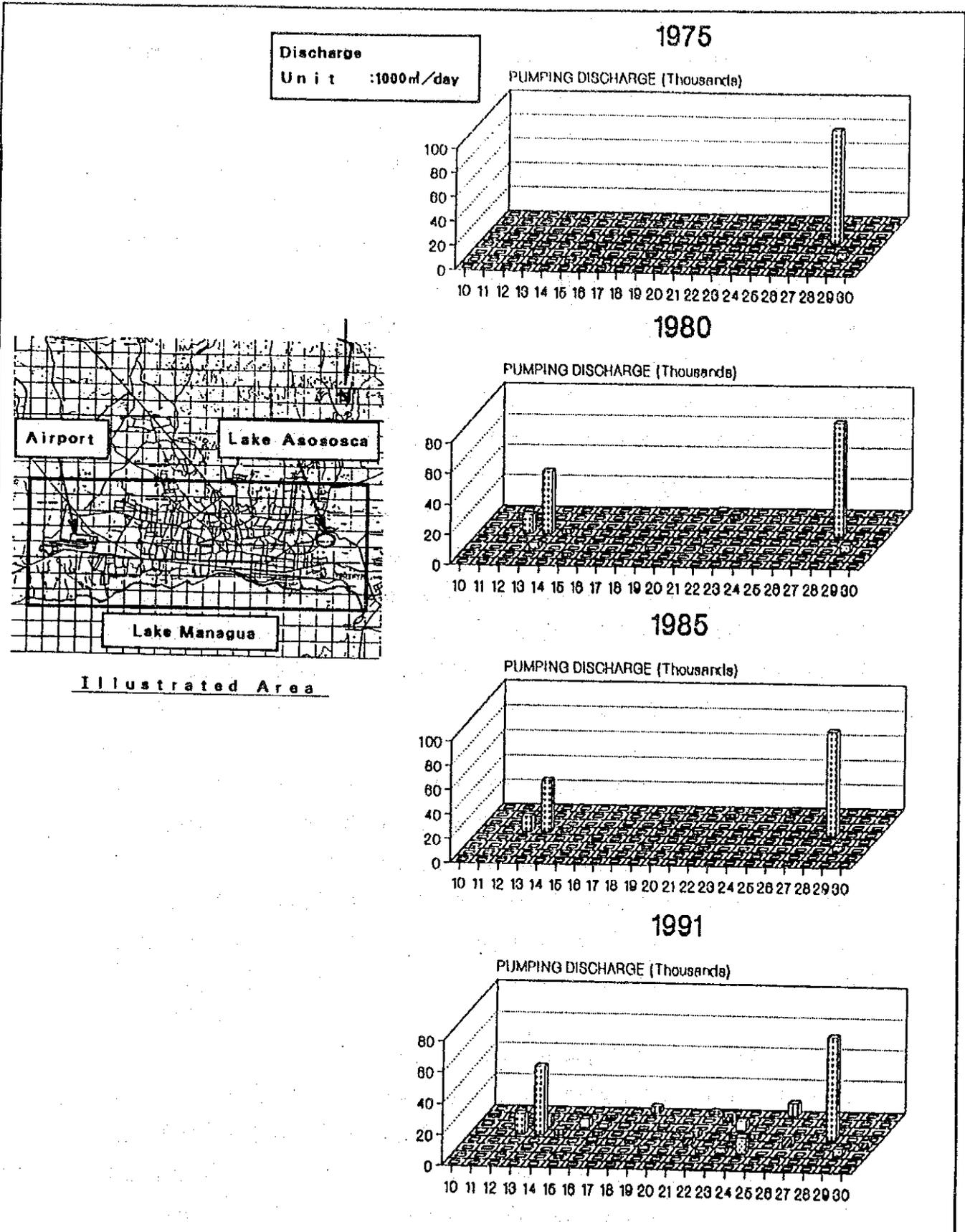


図4.5.2 1kmメッシュで見る揚水量の推移

4. 6 試掘井戸掘削と揚水試験

本調査では5本・総掘進長1,266mの試掘井戸掘削と揚水試験（7サイト、うち2サイトは既存井戸利用）が下記の目的で実施された。

- ・ 地下水の産状と帯水層の水理特性を調査し、調査地全域における地下水の開発可能性を評価する。
- ・ 地区別・帯水層別地下水の水質組成を把握し、飲料水としての適性を検討するとともに、地下水の流動機構を水質面から考察する。
- ・ 地下水開発の有望地域を選定し、その開発計画を策定する。

この井戸掘削と揚水試験の結果は表-4.6.1, 4.6.2及び図-4.6.4に示すようである。また、この調査の結果判明した主な事項は下記の通りである。

- ① J I - 1 試掘井戸は、テイクアンティペ北部地区における中部ラス・シェラス層〔TQps(M)〕の地下水の産状と帯水層の水理特性を調査するとともに、電気探査で推定された水文地質的難透水性基盤層の存在を確認する目的で、予定深度400mで計画された。しかし、深度80mから300mにかけて、極めてルーズな火砕流堆積物（火山灰・スコリア）からなる、井戸掘削上極めて不安定な地層が連続したために、300mで掘削中止を余儀なくされた。

既存の井戸資料などから、一般にTQps(M)は「玄武岩質の密に固結した集塊岩を主体とし、部分的に帯水層としての多孔質スコリアの薄層を伴う」とされていた。この試掘井戸によりTQps(M)の下部で把握された厚さ220m以上におよぶ火砕流は、従来のTQps(M)に関する知識に無いものであり、その岩相構成と層厚などから考察して、ラス・シェラス・グループ（TQps）の大規模火山活動の初期段階における埋没火山円錐丘である可能性が高いと推定された。

揚水試験結果から、この火砕流堆積物からなる帯水層は、比湧出量が $19,464.84 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ と極めて高く、水質面からも良好な地下水の貯溜層であることが明らかになった。図-4.6.1, 4.6.2は上記の考察にもとづき作成された模式断面図であり、また、図-4.8.2に推定される火砕流堆積物の分布範囲を示した。これらの図に示される水理地質構造が正しいとすると、このテイクアンティペ北部地区は地下水開発の最有望地区の一つになる。

- ② J I - 2 試掘井戸は、ベラクルス地区における地下谷を埋積するマサヤ火山岩類 (QvM) とその下位のTQps(M)の地下水の産状と帯水層の水理特性を調査することを目的に掘削された (200m)。

この試掘井戸により、ベラクルス地区における主帯水層はQvMの玄武岩質の多孔質溶岩・自破碎質溶岩とその火砕流堆積物 (層厚約70m) からなり、TQps(M)は第二帯水層になっていることが判明した。揚水試験による比湧出量は687.77 ml/day/mであった。

- ③ J I - 3 試掘井戸は、サバナグランデ東部地区におけるQvMとTQps(M)の地下水の産状及び帯水層の水理特性を調査するとともに、その下位に分布が推定される水理地質的難透水性基盤層の存在状態を確認し、かつ、ティピタパ及びその周辺地域に賦存する温泉との関連から地熱に関する情報を得ることを目的として、予定深度400mで計画された。井戸掘削の結果、400m掘削以浅で上記3項目の調査目的が達成されたので、深度366mで掘りどめとした。この試掘井戸により判明した主な事項は次のようである。

- a) この地区の主帯水層は、QvMの降下スコリア層及びスコリア流 (火砕流) と、TQps(M)の化石古土壤層・風化集塊岩層・スコリア薄層などからなり、揚水試験による比湧出量は1,118.64 ml/day/mであった。
- b) 基盤岩層は、上部コヨル・グループの石英安山岩 (岩脈状) と同質の熔結凝灰岩類からなり、深度266-366m間で連続して確認された (図-4.6.3)。
- c) 井戸掘削後の温度検層による地下水の温度は13.70-240m間35℃、240-250m間35℃-36℃、250-255m36℃-38℃、250m以深38℃~39.5℃であり、地質構成がTQps(M)から上部コヨル・グループの火山岩類に変化する付近で地温が急に上昇している。

この試掘井戸では深度別に4ヶ所で水質試験用サンプルを採取したが、分析結果は何れも浅層地下水 [Ca(HCO₃)] と深層地下水 (NaHCO₃) が混合した複合型の水質組成を示した。

表 4.6.1 試掘井及び既設井の諸元

井戸の名称	JICA 1号井	JICA 2号井	JICA 3号井	JICA 4号井	JICA 5号井	ホアン ラモン ロプレス	1285 号井戸
1.所在地	ラス・ マドリダス	ベラクルス	サバ・グランダ	ソクラテス・ サンディ	ベヨ・ アマセ	エル・ ピケ	エルマス ・ロプレス
2.緯度	12° 03' 30"	12° 06' 08"	12° 08' 50"	12° 06' 43"	12° 08' 22"	12° 05' 53"	11° 59' 40"
経度	86° 11' 43"	86° 09' 32"	86° 08' 59"	86° 12' 51"	86° 20' 51"	86° 09' 44"	86° 06' 29"
3.標高	約 220m	約 125m	約 78m	約 86m	約 145m	約 109m	約 255m
4.ケーシングパイプ の口径	12" 3/4	12" 3/4	12" 3/4	12" 3/4	12" 3/4	13" 1/2	6"
5.掘削業者	JICA 調査団	JICA 調査団	JICA 調査団	JICA 調査団	JICA 調査団	-	-
6.掘削開始年月日	1992 06.10	1992 06.17	1992 06.15	1992 06.19	1992 06.18	-	-
掘削終了年月日	1992 11.16	1992 11.18	1992 11.14	1992 10.20	1992 10.23	-	-
7.掘削所要日数 (日)	160	155	153	116	63	-	-
8.ストレナーの位置							
1)ブリッジ スクリーン (深度m)	107.28 ~156.05 174.80 ~186.99	88.84 ~105.91 118.16 ~152.30 170.68 ~182.58	19.46 ~ 29.21 41.71 ~ 92.92 141.12 ~155.75 218.13 ~220.59	109.00 ~130.90 137.20 ~156.70 162.90 ~175.10	114.80 ~151.40	-	-
2)ジョンソン スクリーン (深度m)	186.99 ~210.16	71.44 ~ 88.84	105.42 ~128.62	175.10 ~192.50	163.60 ~181.00	-	-
9.ストレナーの長さ							
1)ブリッジ スクリーン(m)	60.96	63.74	78.05	53.60	36.60	-	-
2)ジョンソン型 スクリーン(m)	23.17	17.40	23.20	17.40	17.40	-	-
10.孔内温度(℃) 及びその深度(m)	-	34.0 200	35.3 280	32.0 200	40.7 200	-	-
11.湧出水の温度 (℃)	-	28.6	33.5	30.9	35.0	30.3	-
12.電気伝導度 (mS/cm)	-	1.180	-	0.361	1.000	1.003	-

表 4.6.2 試掘井及び既設井の揚水試験結果

井戸の名称	JICA 1号井	JICA 2号井	JICA 3号井	JICA 4号井	JICA 5号井	ホアン ラモン ロブレス	1285 号井戸
1. 深度 (m)	300	200	366	200	200	138	-
2. ストレーナー の長さ (m)	84.13	81.14	101.25	71.00	54.00	-	-
3. 主帯水層名 (注1)	TQps (M)	QvM, TQps (M)	QvM, TQps (M)	TQps (M)	TQps (M)	QvM	TQps (M)
4. 揚水試験実施日	1992年 11.14~16	1992年 11.16~18	1992年 11.12~14	1992年 10.14~18	1992年 10.21~23	1992年 10.03~05	1992年 07.08
5. 静水位 (地表面下m)	104.24	43.47	14.62	94.28	100.18	39.80	96.73
6. 揚水量 (m ³ /日)	1,483	2,469	2,998	1,472	1,472	2,470	87
7. 水位降下 (m)	0.076	3.59	2.68	11.89	1.83	8.37	0.47
8. 比湧出量 (m ³ /日)	19,464	688	1,119	124	804	295	183
9. 透水量係数 (m ³ /日)							
1)a. タイスの解析法	-	915	-	147	50	123	323
b. ヤコブの解析法	-	1,291	3,658	150	267	192	354
2) 回復試験の解析	-	1,290	3,429	112	-	105	332
3) T=1.22×比湧出量	23,746	839	1,364	151	981	360	223
10. 貯留係数	-	3.24×10^{-1}	-	1.82×10^{-1}	-	-	-
11. 帯水層ロス係数 (d/m ²)	-	-	5.92×10^{-4}	4.42×10^{-3}	-	-	-
12. 井戸ロス係数 (d ² /m ⁴)	-	-	1.10×10^{-1}	2.57×10^{-1}	-	-	-

(注1) QvM : マサヤ系火山岩類 (第四紀更新世)
TQps (M) : 中部ラス・シェラス層 (鮮新-更新世)

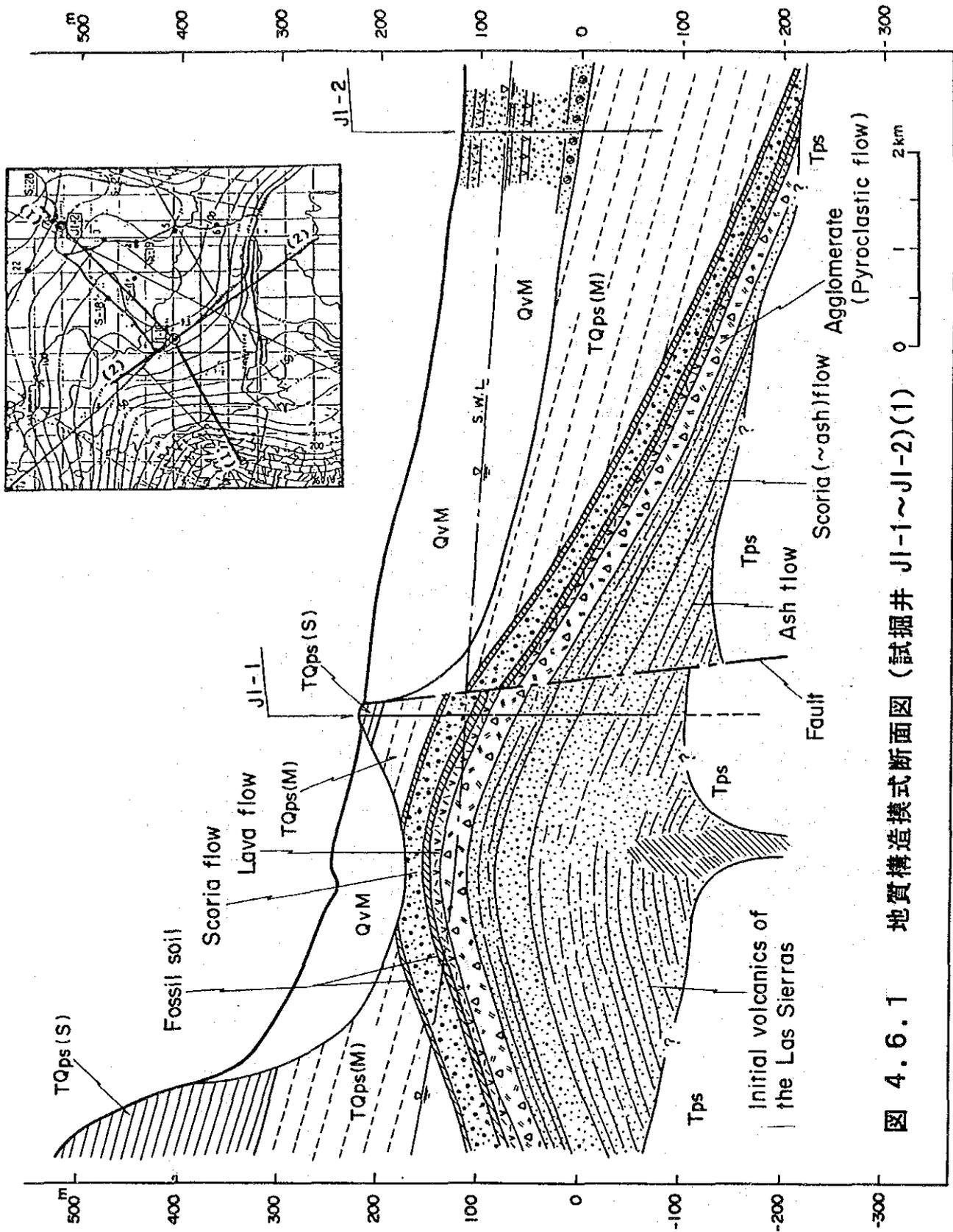


图 4.6.1 地質構造模式断面图 (試掘井 Jl-1~Jl-2)(1)

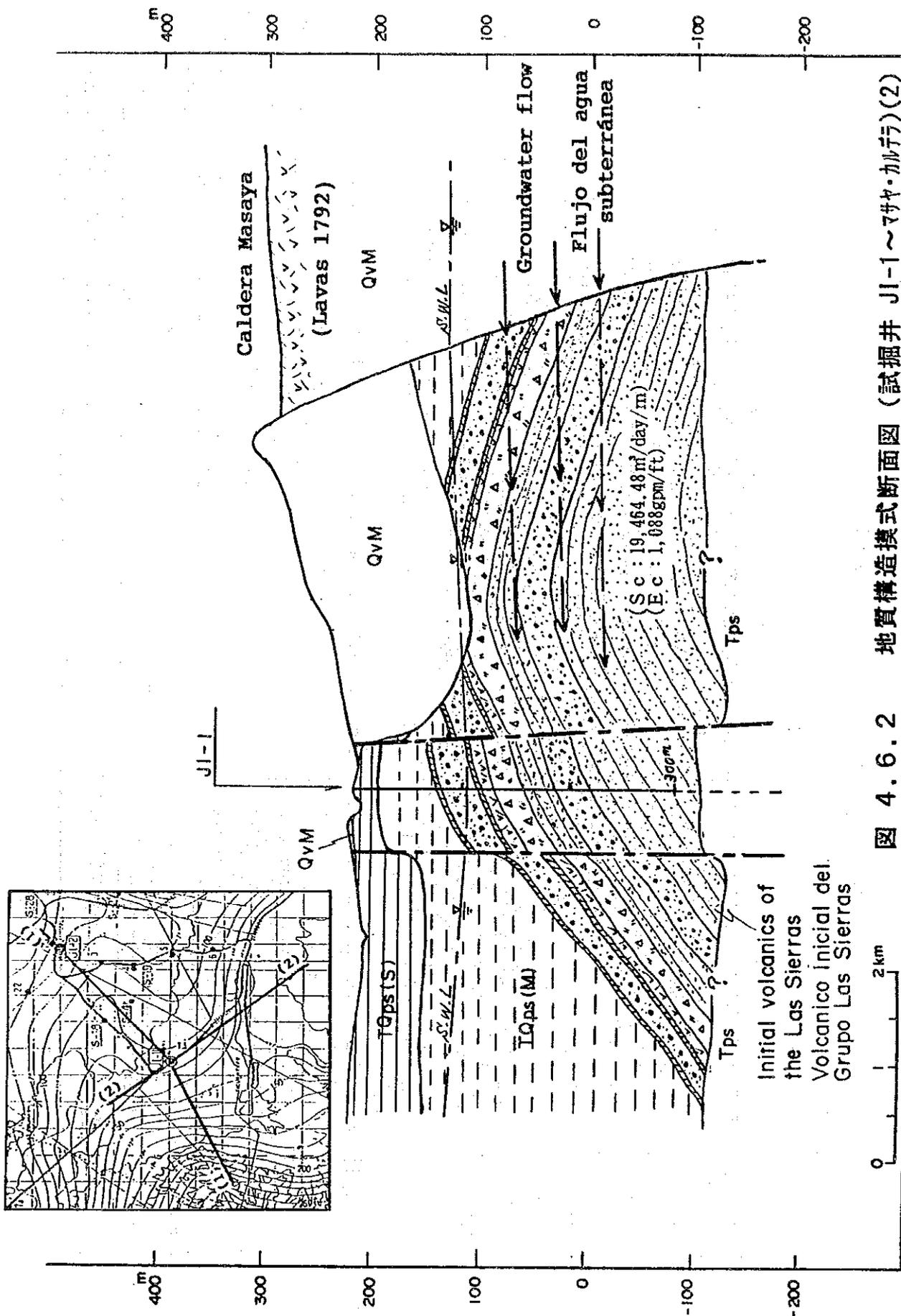


图 4.6.2 地質構造模式断面図 (試掘井 JI-1 ~ マサヤ・カルデラ) (2)

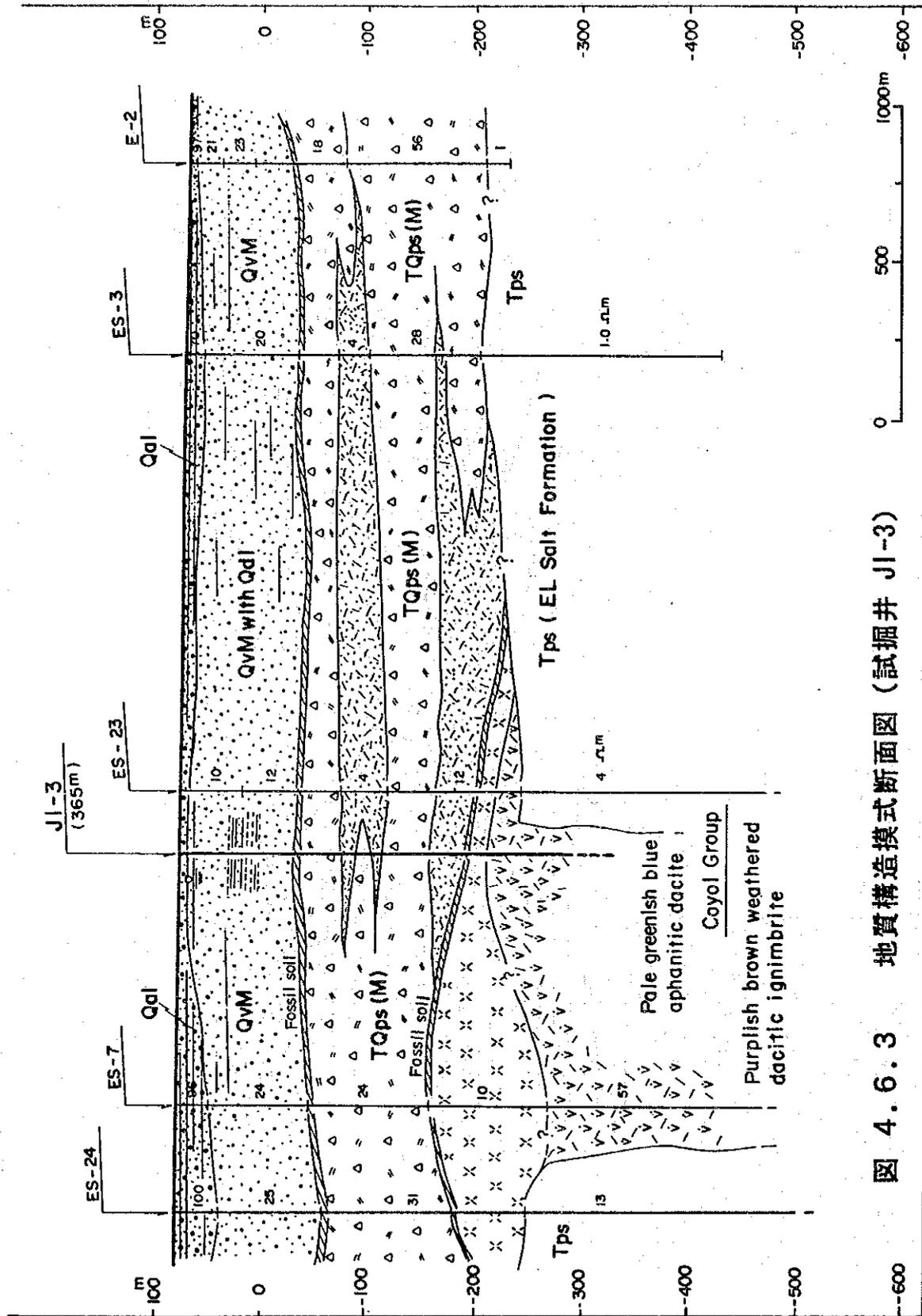


图 4.6.3 地質構造模式断面图 (試掘井 JI-3)

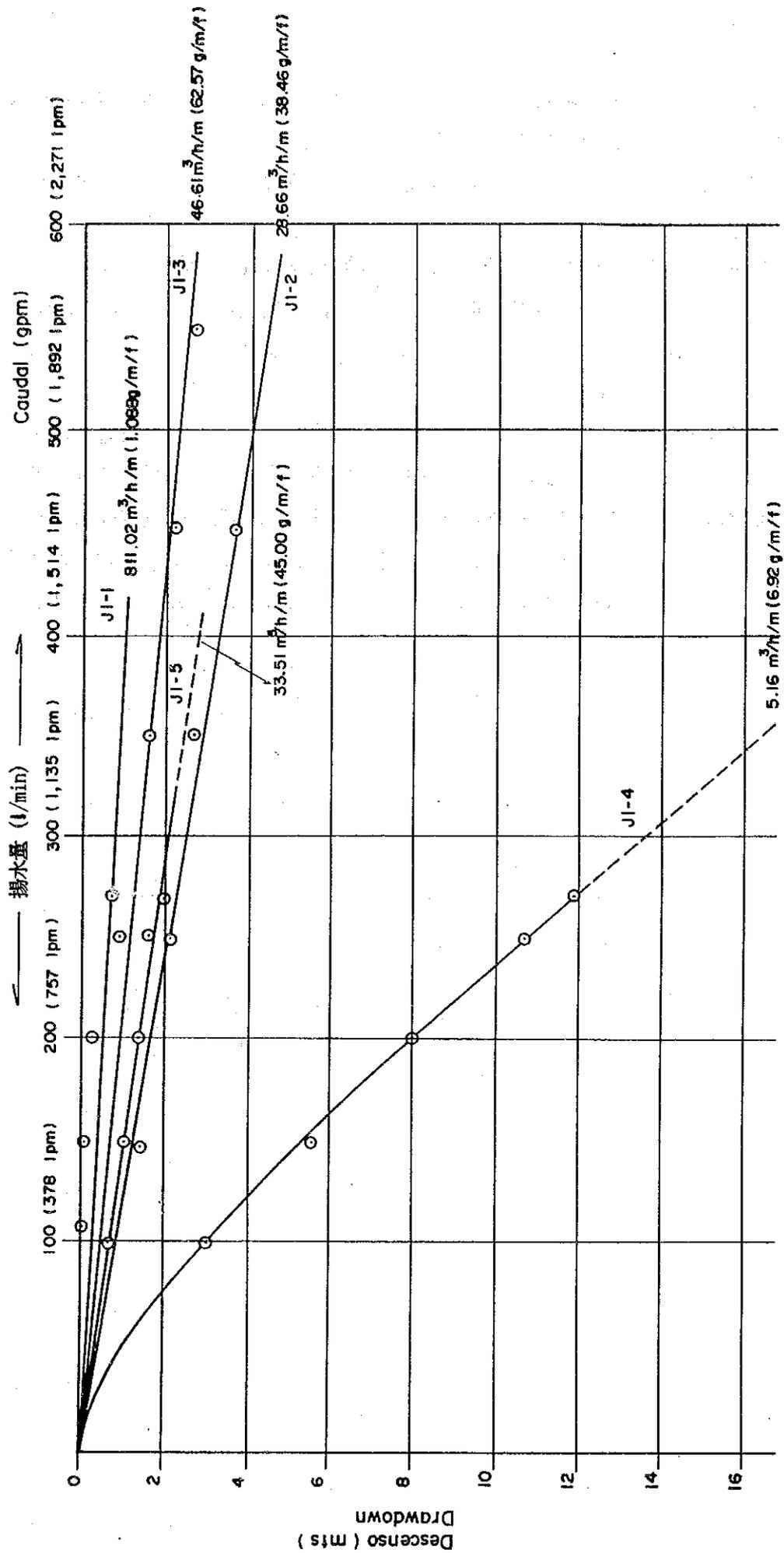


图 4.6.4 段階揚水試驗結果

- ④ J I - 4 試掘井戸は地下水開発の低ポテンシャル地域におけるTQps(M)の水理特性を調査し、水収支解析の帯水層係数を検討するための資料を得ることを主目的として掘削された。揚水試験による比湧出量は $123.77 \text{ m}^3 / \text{day} / \text{m}$ であった。
- ⑤ J I - 5 試掘井戸はマナグア地下水盆西部地域の水文地質構造とTQps(M)帯水層の水理特性を調査するとともに、水理地質的難透水性基盤層としてのエル・サルト層の存在を確認することを目的に計画された。

この井戸掘削により、この地域の主帯水層はTQps(M)の玄武岩質集塊岩の風化部及び破碎部と基底部の凝灰質粗粒砂岩・細粒礫岩層からなり、また、その下位に貝化石片や石灰岩の碎屑礫を伴う凝灰質砂岩・シルト岩などからなるエル・サルト層が実在することが確認された（深度167.64-200m間）。確認されたこの地域の水理地質構造は図-4.1.5に示される通りであり、揚水試験によるTQps(M)帯水層の比湧出量は $804.19 \text{ m}^3 / \text{day} / \text{m}$ であった。

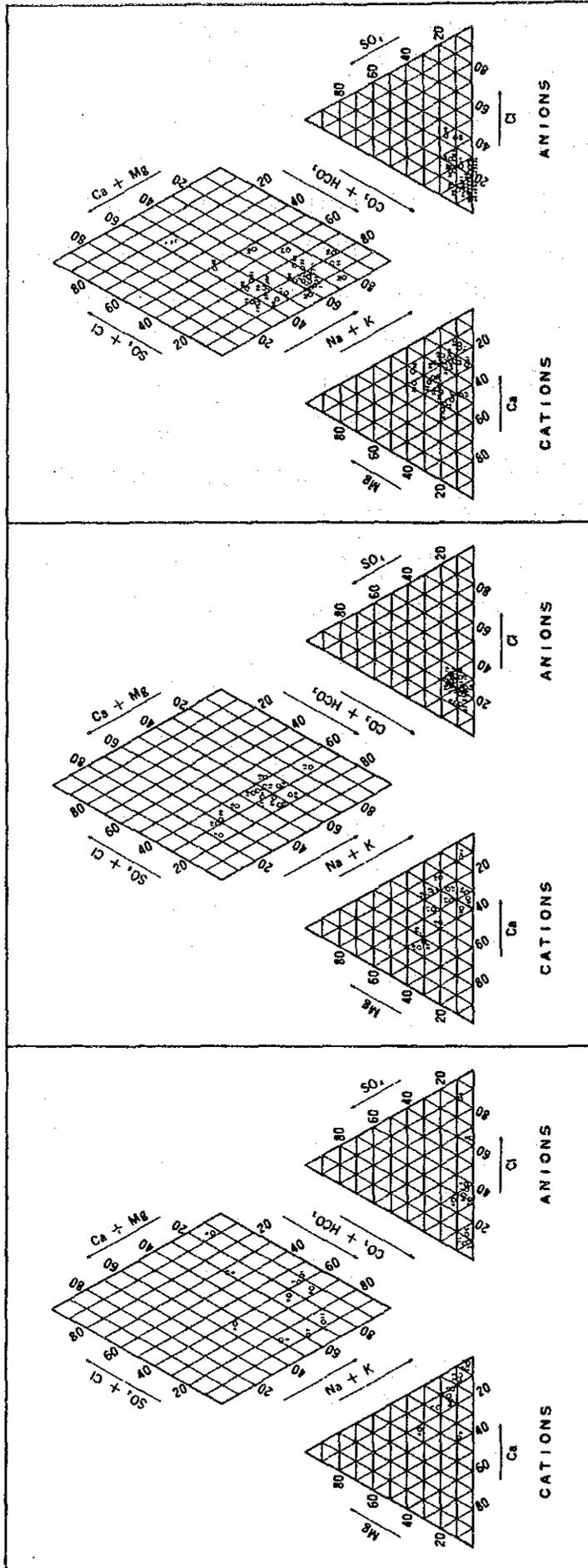
4. 7 水質

対象地域の飲料水としての妥当性、水理地質構造と地下水の流動の関係を解析する為、水質試験を実施した。

全体として、井戸から揚水した水については、飲料水として適当と判断される。

図-4. 7. 2 に示すトリリニアダイヤグラムとステップパターンダイヤグラムはその結果を図示したものであるが、上流側で採取したサンプルが、下流に進むにつれ還元され (Ca+Mg) の位置から (Na+K) の位置へと移る様子が読み取れる。サバナグランデ～コフラデアの水質については、TDSが高めに出ており、同じような傾向が調査対象地区の東側に位置するアポヨ湖や北側にあるティピタパの温泉水でも見られる事から、マサヤカルデアラから北北西方向にある断層に起因したものであると考えられる。

Tri-linear Diagram (Diagrama Tri-lineal)



River, Spring, lakes
(Rios, Manantiales, Lagos)
河川、湧水、湖

Western & Central Hydrogeological Basin
(Cuenca Hidrogeologica Occidental y Central)
西部・中央地下水盆

Eastern Hydrogeological Basin
(Cuenca Hidrogeologica Oriental)
東部地下水盆

図4.7.2 トリリアリアダイアグラム.c

Stiff Pattern Diagram (Diagrama Patrón de Stiff)

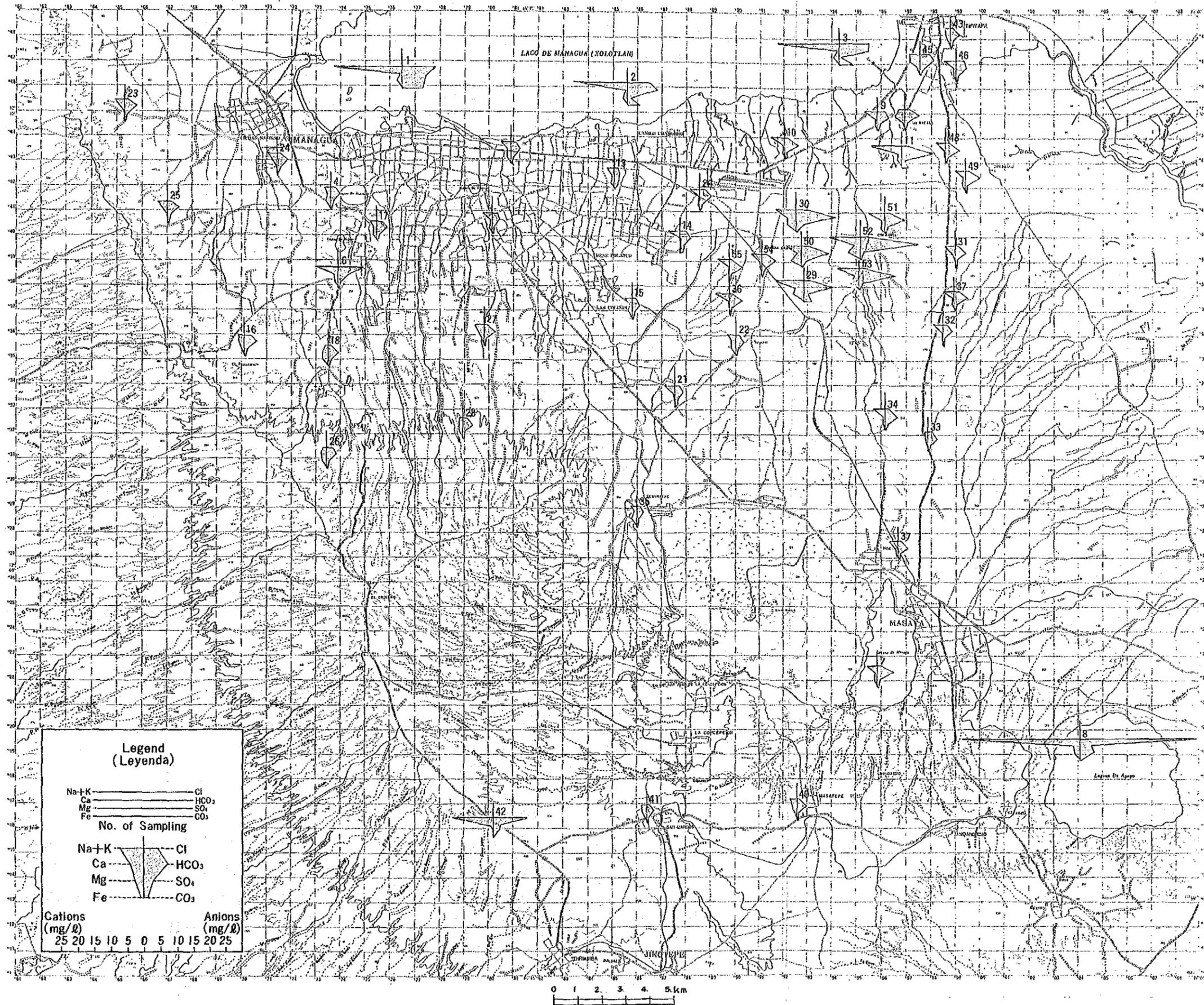


図4.7.1 スティフパターンダイアグラム

4. 8 調査地域の水文地質特性

4. 8. 1 水文地質概要

マナグア地下水盆における主要な地下水貯溜層は、火山砕屑物を伴う沖積層（Qa1）、マサヤ系火山岩層（QvM）及び中部ラス・シェラス層〔TQps(M)〕の3層である。一方、エル・サルト層及びブリト層は、水理地的難透水性基盤層として、マナグア地下水盆の基底部を構成している。

(1) 沖積層（Qa1）

Qa1は、マナグア西部地区のロス・ブラシィレス谷底平原、マナグア湖の沿岸域、マナグア東部地区の地下谷下流域（ラス・メルセデス地区）に主として分布する。

ロス・ブラシィレス谷底平原は、マテアレ断層崖から供給された岩屑物、湖成堆積物（砂・シルト・粘土）、第4紀火山噴出物の一次及び二次堆積物が谷間を広く埋積し形成されたものである。ここでの主帯水層は、粗粒砂・スコリア・軽石などの低固結層である。谷間の北西部に良好な帯水層が分布しており（図-4.8.1）、既存井戸は120-150mの深さで2,000-6,000 m^3 /day/wellの地下水を産する。

ラス・メルセデス地区周辺のQa1は湖成堆積物の細粒砂・シルト・粘土層、第4紀火山噴出物の1次及び2次堆積物、マナグア山地からの土石流堆積物（TQpsの2次堆積物）が地下谷末端部の湖水域で混交堆積したものからなる。ここでのQa1は概して細粒物質に富み、地下谷上流側のQvM帯水層に比較して透水性・産出能が低い。このようなQa1とQvMの透水性の差に起因すると推定される地下水の湧泉帯が両者の地質境界付近に存在する（図-4.1.4, 4.8.1）。

(2) マサヤ系火山岩層（QvM）

試掘井戸掘削（J1-2, J1-3）でも確認されたように、マナグア東部地区の地下谷を埋積するQvMは多孔質・自破砕質の玄武岩熔岩とその火山砕屑物層から構成されており、一般に高い透水性・産出能を有している。この地下谷で掘削された既存井戸の多くはQvMとTQps(M)の2つの帯水層から揚水にしているが、主帯水層をなすのは明らかにQvMである。主な井戸水源区の生産水量は次のようである。

カルロス・フォンセカ (16#)	73,808 m ³ /day	(4,613 m ³ /day/well)
サバナ・グラデ (5#)	14,913 m ³ /day	(2,982 m ³ /day/well)
ベラクスル (7#)	13,205 m ³ /day	(1,886 m ³ /day/well)
計 (28#)	101,926 m ³ /day	(3,641 m ³ /day/well)

地下谷下流の湧泉帯はQvMからの地下水の湧出によるものであり、その総湧出量は約1.3 m³/sec (112,320 m³/day、1992年2月乾期の測水)である。このほかに測定不可能な多量の伏流水と湿地帯への流出水がある。

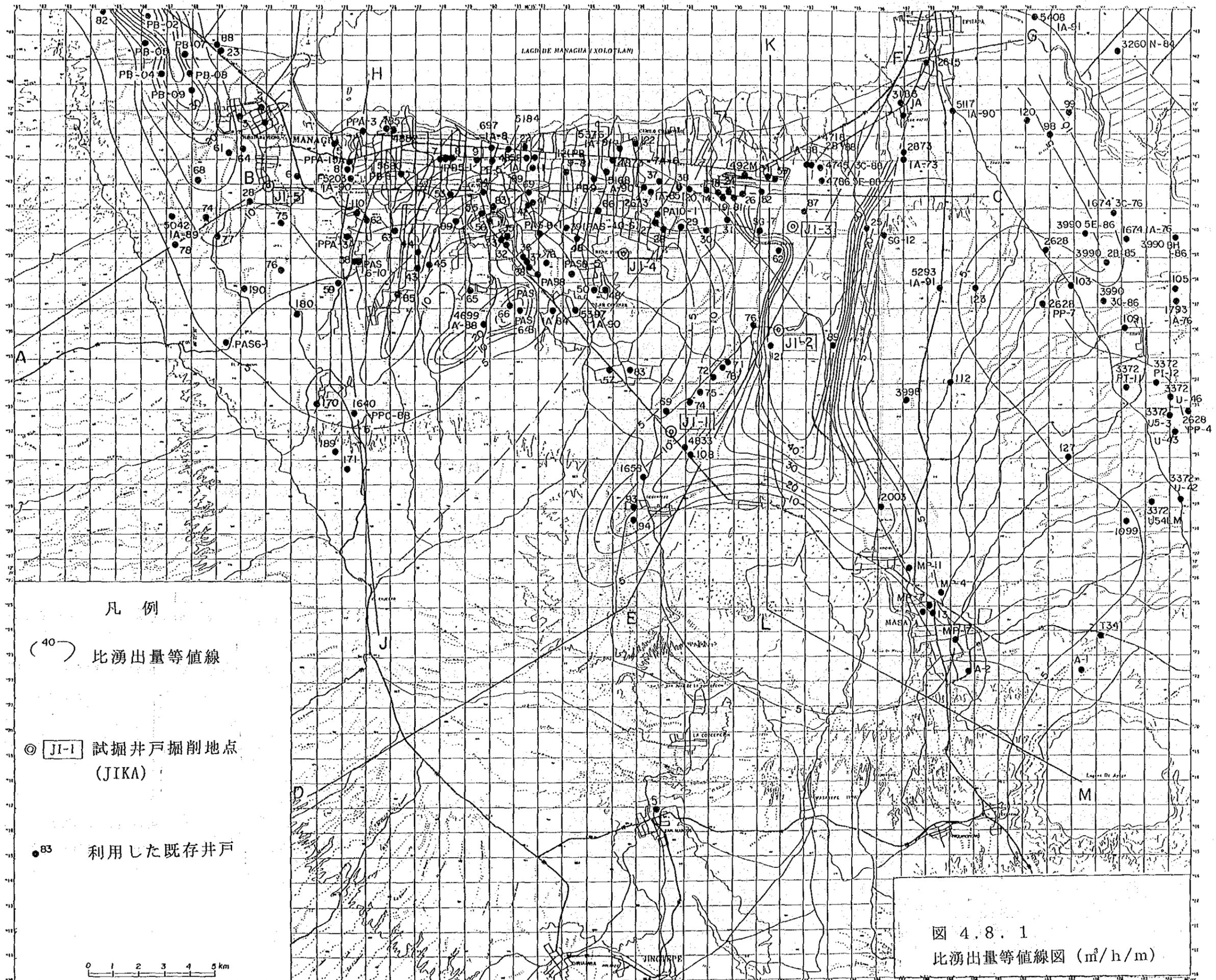
(3) 中部ラス・シェラス層 (TQps(M))

TQps(M)はマナグア地下水盆の全域にわたって分布する。玄武岩質の固結集塊層中に挟在する多孔質のスコリア層 (スコリア流及び降下スコリア層)、固結集塊岩層中の化石古土壌を伴う風化部、固結集塊岩層自体の破砕部などがTQps(M)の主な帯水層になっている。

TQps(M)中に掘削されたINAAの生産井はマナグア中央部地区に集中しており、アソソスカ湖からの揚水もTQps(M)からの地下水の取水になっている。これら水源からの揚水量は次のようである。

井戸 (53井)	179,788 m ³ /day	(3,392 m ³ /day/well)
アソソスカ湖	39,743 m ³ /day	
計	219,531 m ³ /day	

TQps(M)はティピタパ市及びその周辺地域で温泉の帯水層にもなっており、ティピタパ市の川岸でTQp(M)から湧出している温泉は泉温が97°Cである。



凡例

- (40) 比湧出量等値線
- ◎ JI-1 試掘井戸掘削地点 (JIKA)
- 83 利用した既存井戸

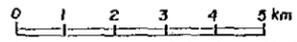


図 4.8.1
比湧出量等値線図 (m³/h/m)

4. 8. 2 水文地質構造（電気探査）

マナグア地下水盆全体の地下の水文地質構造を明確にするために計83地点で電気探査を実施した。ウェンナーの電極配置による探査深度100-215mの浅層電探が50地点、シュランベルジャーの電極配置による探査深度400-750mの深層電探が33地点である。

探査結果は水文地質的に解析され、その解析結果は水文地質断面図（図-4.1.5, 4.1.9）と難透水性基盤上面等高線図（図-4.8.2）にとりまとめた。なお、マナグア地下水盆においては岩相区分と電探比抵抗値の間に表-4.8.3に示すような相関性が認められた。

4. 8. 3 主要帯水層の透水性

マナグア地下水盆を構成する主要帯水層の透水性を評価し、水収支解析の帯水層定数を把握するために、できるだけ多くの既存井戸資料を収集しそれを地区別及び帯水層別に整理・解析して、比湧出量分布図（図-4.8.1）を作成した。透水量係数（T）は、既存の解析データが少ないため、比湧出量（Sc）をもとにして次の経験式を用いて評価した。

$$T \text{ (m}^3\text{/day)} = 1.22 \text{ Sc (m}^3\text{/day/m)} \text{ (Logan 1964)}$$

マナグア地下水盆を構成する主要帯水層について、帯水層定数の地域特性をまとめると次のようである。

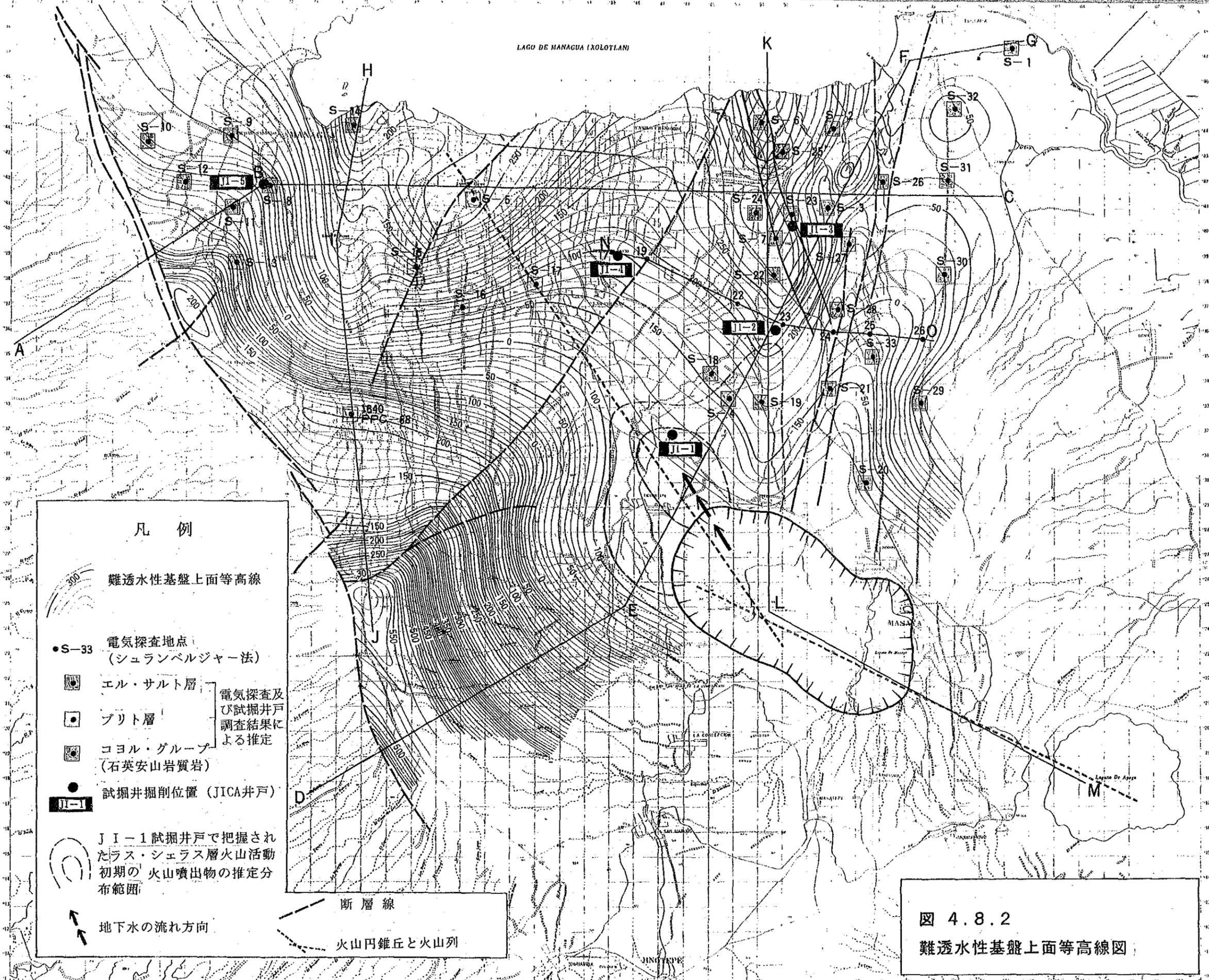
(1) 沖積層（Qa1, 火山碎屑物を伴う）

	T (m ³ /day)	Sc (m ³ /day/m)
マナグア西部地区（11井戸）	821	673.44
マナグア東部地区（7井戸）	215	184.00

表 4.8.1 調査地域における岩相区分と比抵抗との相関表

地層区分	岩層	比抵抗区分 (ohm/m)			備考
		非飽和帯	毛管帯	飽和帯	
第四紀の火砕流堆積物を伴う沖積堆積物層	粘土質層	45 - 90			
	砂質層	60 - 800		8 - 25	
	礫質層		100 - 200	- 25	
	軽石又はスコリア		100 - 200	- 25	
マサヤ系火山岩類	火砕流堆積物 (スコリア質)	170 - 880			
	火砕流堆積物	90 - 120		25 - 50	熱水変成作用の影響を受けている
上部ラス・シエラス層	熔岩流 (角礫質)	100 - 200		10 - 20	
	熔岩流 (コンパクト質)		270 - 500	25 - 200	
中部ラス・シエラス層	火砕流互層帯	250 - 700			
	火山灰質 凝灰岩質				
	塊状-コンパクト質集塊岩	110 - 400	40 - 60		
エル・サルト層	風化凝灰角礫岩・化石表土及び火砕流堆積物			10 - 80	熱水変成作用の影響を受けている
	石灰質凝灰質砂岩及びシルト岩層			1 - 25	
ブリト層 (?)	砂岩及び頁岩層			57 - 456	

LAGO DE MANAGUA (XOLOTLAN)



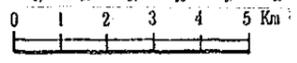
凡例

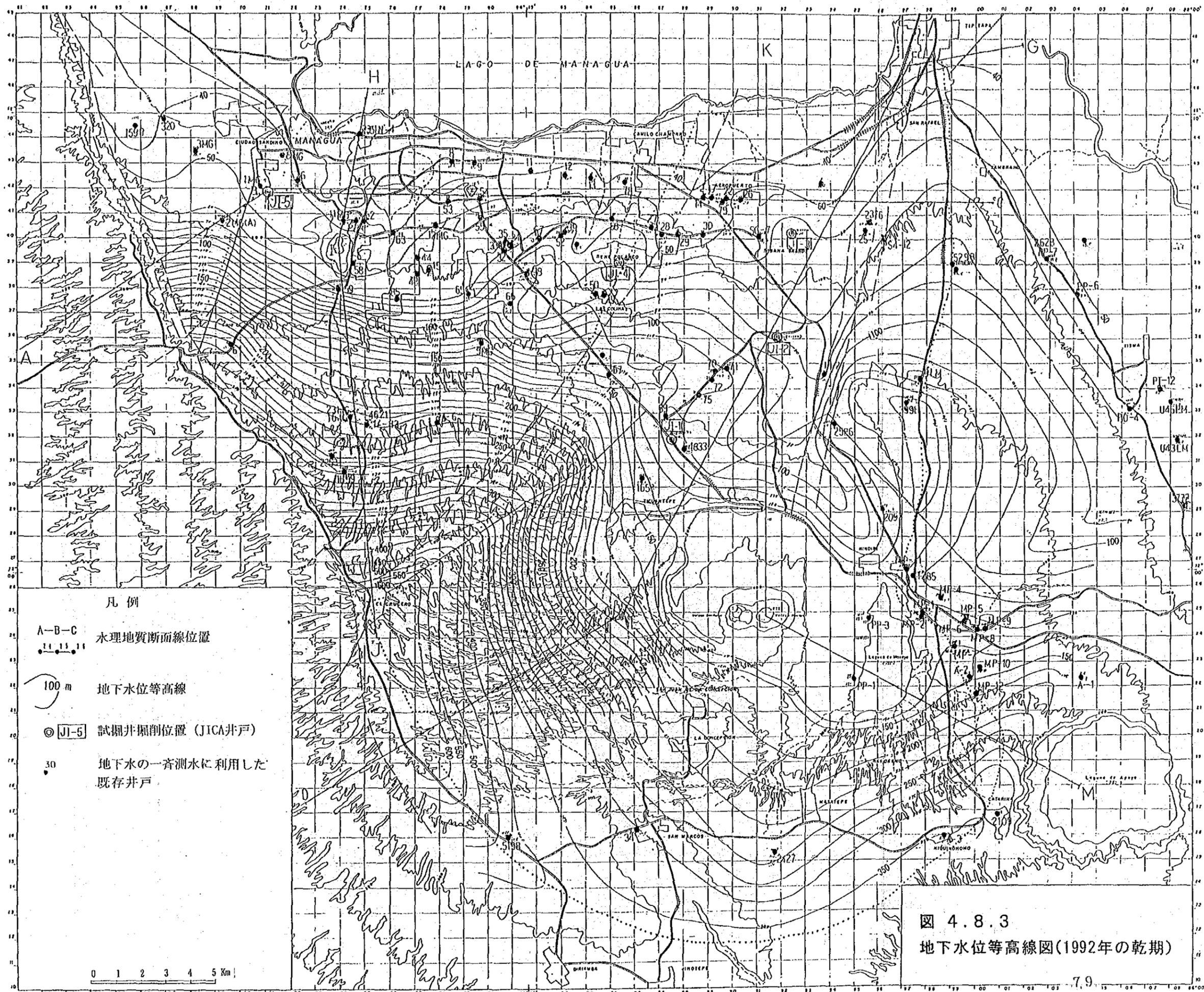
- 難透水性基盤上面等高線
- S-33 電気探査地点 (シュランベルジャー法)
- エル・サルト層
- プリト層
- コヨル・グループ (石英安山岩質岩)
- JI-1 試掘井掘削位置 (JICA井戸)
- JI-1 試掘井戸で把握されたラス・シェラス層火山活動初期の火山噴出物の推定分布範囲
- 地下水の流れ方向

電気探査及び試掘井戸調査結果による推定

断層線
 火山円錐丘と火山列

図 4.8.2
 難透水性基盤上面等高線図



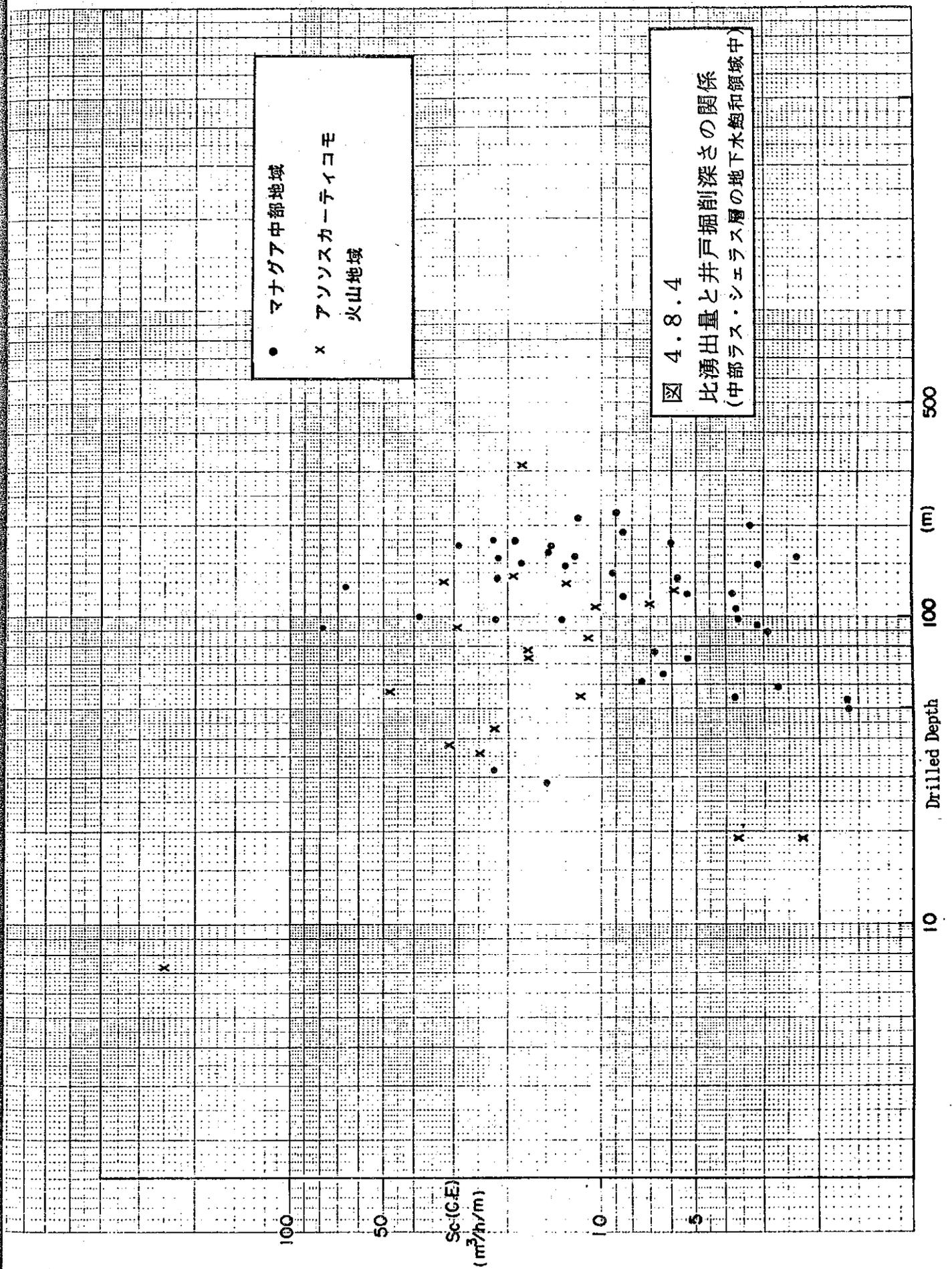


凡例

- A-B-C 水理地質断面線位置
- 100 m 地下水位等高線
- ◎ JI-5 試掘井掘削位置 (JICA井戸)
- 30 地下水の一斉測水に利用した既存井戸

0 1 2 3 4 5 Km

図 4.8.3
地下水位等高線図(1992年の乾期)



(2) マサヤ系火岩層 (QvH) 及び中部ラス・シェラス層 (TQps(M))

	T (m ³ /day)	Sc (m ³ /day/m)
サバナ・グランデーカルロス・フォンセカ (15井戸)	1,948	1,597.00
ベラクルス周辺地区 (4井戸)	1,794	1,466.00
ベラクルス南西部地区 (6井戸) (地下谷西縁部)	340	279.00

(3) 中部ラス・シェラス層 (TQps(M))

	T (m ³ /day)	Sc (m ³ /day/m)
マナグア中央部地区 (66井戸)	425	348.48
サバナ・グランデ西部地区 (8井戸)	443	363.00

マナグア中央部地区TQps(M)の比湧出量は井戸別にみると35~1,896 m³/day/mと変化に富んでいるが、図-4.8.3に示されるように北東-南西系の断層に規制された分布傾向を示し、比湧出量の高い部分は断層沿いの破碎部に位置しているようである。なお、井戸深さ(飽和帯中)と比湧出量の関連性を検討したが両者の間に相関傾向は認められない(図-4.8.4)。

J1-1試掘井戸により、TQps(M)の下位に比湧出量19,464 m³/day/mの極めて良好な帯水層の存在が把握されたが、その広がり不明確なため図-4.8.3には含まれていない。

4. 8. 4 地下水の産状と流動機構

マナグア地下水盆はその地形・水文条件からマナグア山地及びカラソ山地のかN養域、それに続く低平台地部の貯溜・流動域、マナグア湖の流出域に大きく区分される。また、地下水盆の基底を構成する難透水性基盤層(エル・サルト層、ブリト層)の上面形状、地下水盆内部の地質・岩相構成、断層及び破断帯としての火山列、地下水面の分布などの水文地質条件から、マナグア地下水盆は西部・中央部・東部の3つの亜地下水盆に細区分される。

図-4.8.6は地下水盆全体の地下水流動の状態を示したものである。この図は上記の地形・水文・水文地質的諸条件を総合検討し、また、地下水の水質組成及びトリチウム濃度による地下水の流動速度と更新性などの解析結果も含めて、地下水流動機構図として作成されたものである。この図からも明らかなように東部亜地下水盆は、地表水及び地下水の貯溜ダムとしての役目も果たすマサヤ・カルデラを含めて大きな地下水かん養域を有し、また、地下水の貯溜・流動に適した地下谷を有すなど、調査地域の中では最も大きな地下水開発ポテンシャルをもっている。

地下水面は全体として地形条件に調和した分布を呈するが、難透水性基盤層の上面形状・地層の透水性・断層などの水文地質条件と人工的な過剰揚水の影響を受けて地形条件に不調和な部分がある。

地下水位はマナグア山地・カラソ山地のかん養域で地表下250-120m、低平台地の貯溜・流動域で地表下120m以下である。地下水は全体として不圧水もしくは準被圧水として賦存し、部分的に宙水及び被圧水も存在する（図-4.8.5）。

トリチウム濃度の解析結果とマサヤ湖の水位連続観測によると、地下水位の深い山地かん養域での地下水の流動速度は、中間流出領域の地下水で50-100m/day、基底流出領域の地下水で0.8-0.6m/dayと推定される。一方、貯溜・流動域での地下水の流動速度は東部亜地下水盆の断層沿いの部分で9.6m/day、地下水の中央部で4.5m/day程度と推定される。

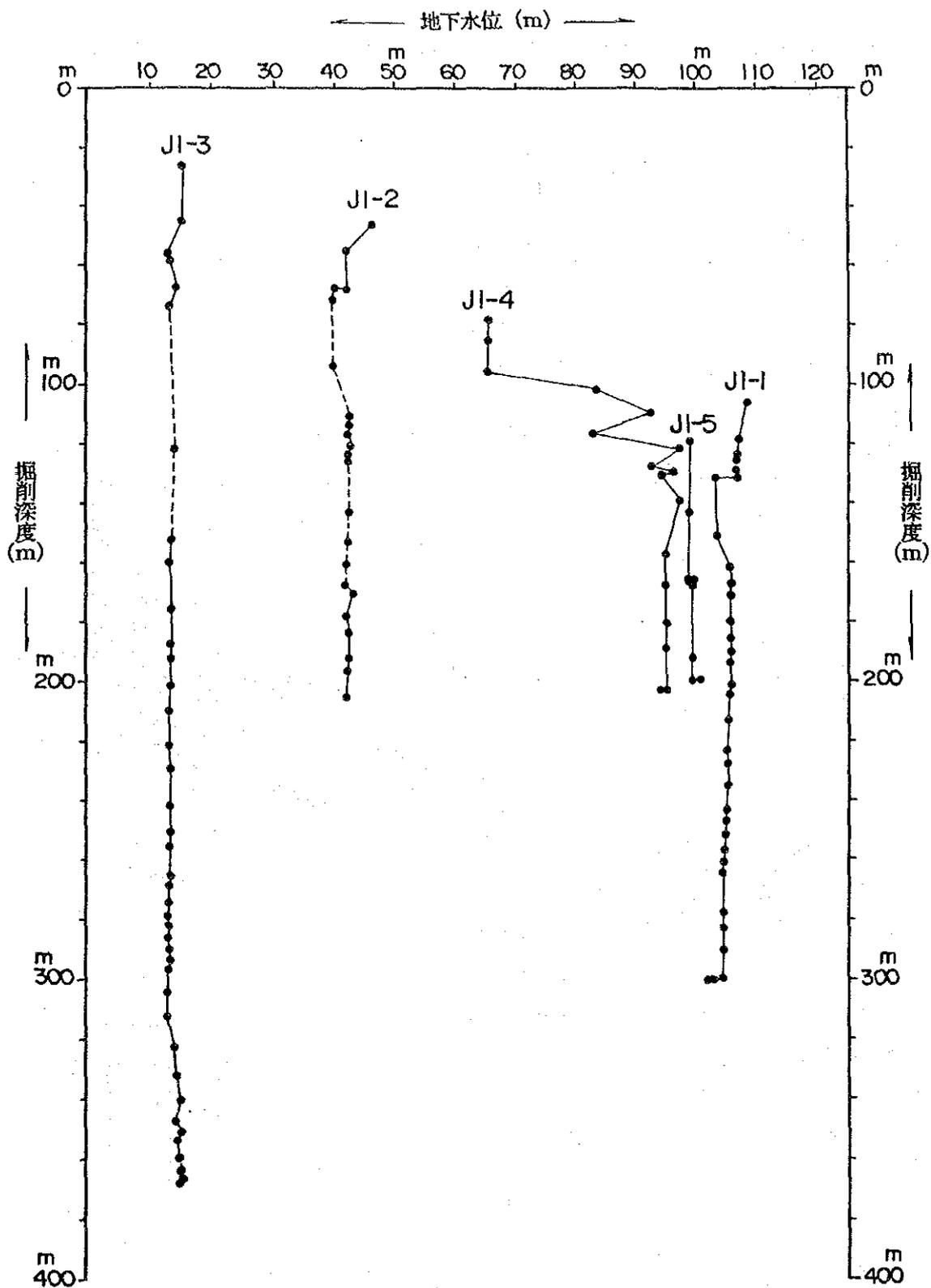


図 4.8.6 試掘井掘削時の地下水変動状況図

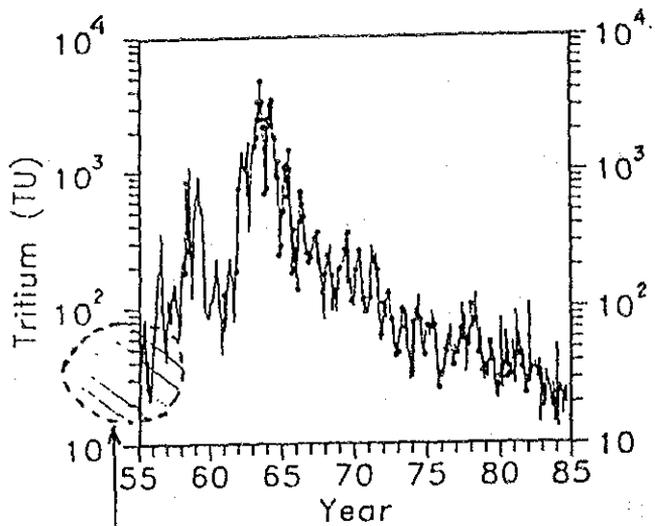
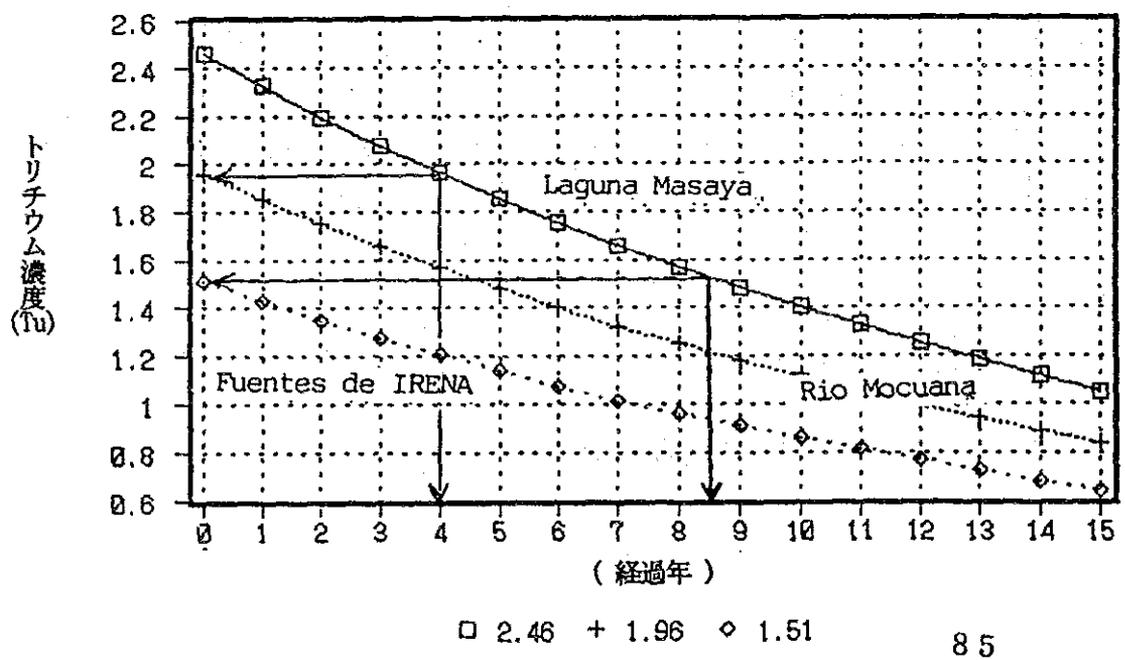
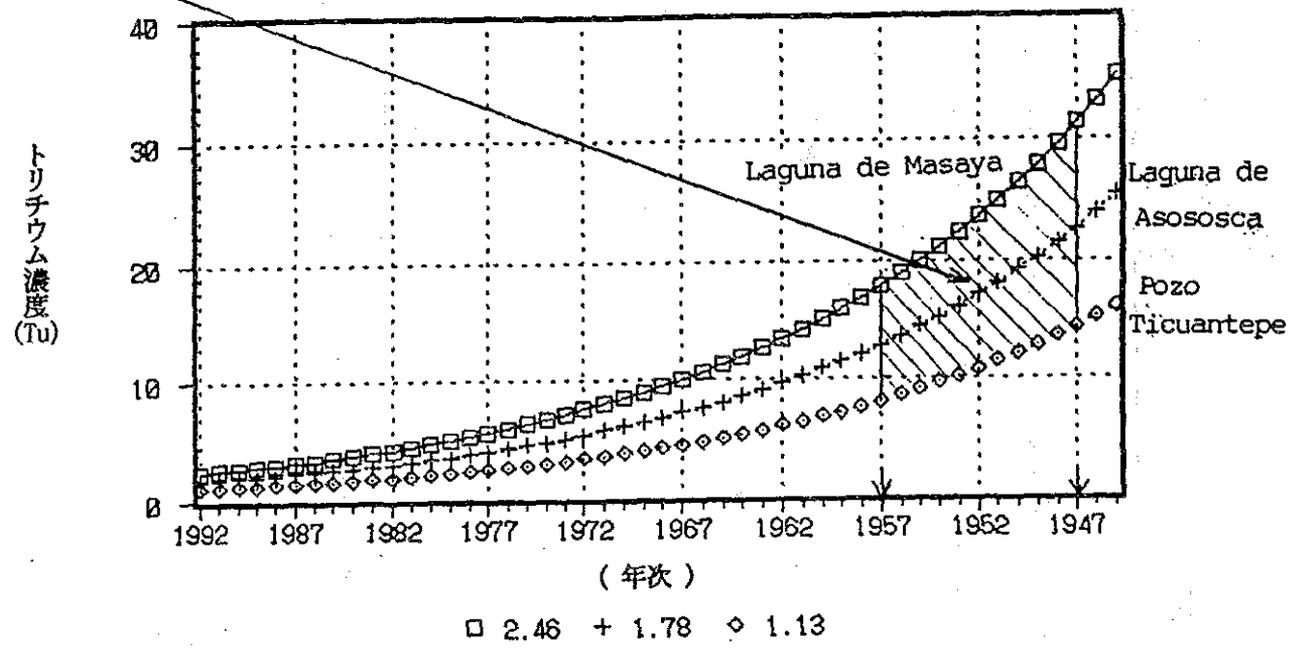


図 4.8.7 ウィスコンシン州マディソンにおける降雨中トリチウム濃度の合成記録 (黒点は実測値)

図 4.8.8 トリチウム濃度の経年変化図



4.9 データベース

調査中収集された、気象水文、水理地質、井戸関連の資料はデータベースソフトを利用して、コンピュータへの入力を行った。

5. 地下水資源の評価

地下水資源の評価にあたっては、対象地域全体の水収支概算を検討するとともに、モデル化をおこないコンピューターシミュレーション解析により検討を行った。

5.1 水収支の検討

現状では、涵養量評価に必要なデータが不十分であるが、既存データ・シミュレーション等より仮定した地質毎の涵養率を仮定して後述するシミュレーション対象地区についての水収支を概算した。

水収支の概算

地下水盆	西部	マナグア中央部	東部
面積 (km ²)	54	237	499
年降雨量 (mm)	1151	1211	1289
平均涵養率 (%)	18.0	18.1	21.0
年間涵養量 (百万m ³)	11.19	51.95	135.07
地下水ポテンシャル (百万m ³)	8.9	41.6	108.0
1991年揚水量 (百万m ³)	3.1	61.2	36.3
収支 (百万m ³)	5.8	-19.6	71.7

ここで、可採水量としては、涵養量の80%を想定している。この結果、マナグア市を含む中央部地下水盆においては、明らかに過剰揚水であり、アソソスカ湖の揚水を含めて、将来的には揚水制限が必要である事、東部地下水盆では70百万m³程度の開発が可能である事が考察される。

5.2 モデルシミュレーション

対象地域のモデル化を行い、シミュレーションを実施した。モデルに利用したのは準3次元地下水流動モデル(Q3P)である。

モデル化にあたっては、南北31km、東西38kmの大きさで、1要素には1km×1kmとした。帯水層係数と境界条件は現地調査結果及び収集資料解析結果をもとに与え、モデルの検証過程で修正した。(図5.2.1参照)

モデルの検証期間は、1972年から1991年の20年間(1年に1ステップ)とした。帯水層へのかん養は降雨からの直接涵養とし、地下水揚水量は、調査結果をもとにメッシュ別、年別に集計した。初期水位は1992年の調査水位を参考にして1972年のかん養・揚水量による20年間の定常計算を行って得られた計算水位を用いた。(図5.2.2)

モデルの検証は、1991年の計算地下水水位が実測地下水水位に近づくように帯水層定数と、境界条件を修正した。

検証したモデルを用いて以下に示すケーススタディを実施した。

- ケース1 1991年揚水量を継続
- ケース2 Case 1に更に1992～1994実施中のリハビリテーションによる揚水量の増加を見込む
- ケース3 Case 2に更にアソソスカ湖揚水量を1991年80%に削減する
- ケース4 Case 2に更にアソソスカ湖揚水量を1991年60%に削減する
- ケース5 Case 1に更にアソソスカ湖揚水量を1991年60%に削減する
- ケース6 全揚水中止
- ケース7 ケース1とケース2に対して、サバナ・グランデ～コフラディア
} 地域の開発量を仮定して検討
- ケース10

これらのケーススタディは、前述の固定条件に対して、確率50%(2年確率)の雨量と上記の仮定揚水量を用いたものである。

図 ～ に、ケース1、ケース5、ケース9、ケース10の結果を示す。

以上の検討の結果、先の水収支の概算結果と合わせて対象地域内の地下水開発に際して以下の4点がコメントされる。

- (1) 水収支の概算結果によると、西部・東部地下水盆（Ⅰ）、（Ⅲ）地域では、今後の地下水開発が期待されるが、マナグア中央部地下水盆における過剰揚水が明らかであり、アソソスカ湖からの揚水量と合わせて全体での削減を検討する必要がある。
ただし、現時点で利用した各水理定数は仮定したものが多く、また、揚水資料も不十分なことから、2～3年後にモニター結果を受けてモデルの再評価を行わねばならない。
- (2) 現在の揚水を続けるだけでもマナグア市内中央部での水位低下が懸念される。特にマナグア湖岸から比較的近くに位置するNo. 7～No. 10については、マナグア湖との間に観測井を設け、湖水侵入の観点から周辺地下水位を検討する必要がある。
- (3) アソソスカ湖の水位を標高40m程度に戻そうとすると、1991年揚水量65,700 m³/日から更に40%以上の削減をしなくてはならない。削減計画の詳細は、マナグア湖・アソソスカ湖及びその間にある工場地帯での水位観測を実施しながら検討するものとする。
- (4) 3章の中で述べたように、カルロス・フォンセカ井戸群では適切な井戸間隔で運用するならば、7 m程度の井戸干渉による水位降下を防ぐことが期待できる。サバナグランデーコフラディアやベラクルス-ティクアンテペ地域での、開発を考えたケース7～9の結果では、これらの上流地域での揚水によりこのカルロスフォンセカ地区の水位に影響を与えるが、上記回復の程度と予想される。
とにかく、1995年～2000年、この東部地下水盆地域における開発は、今後の水位等モニター結果を再評価しながら行う事が重要である。

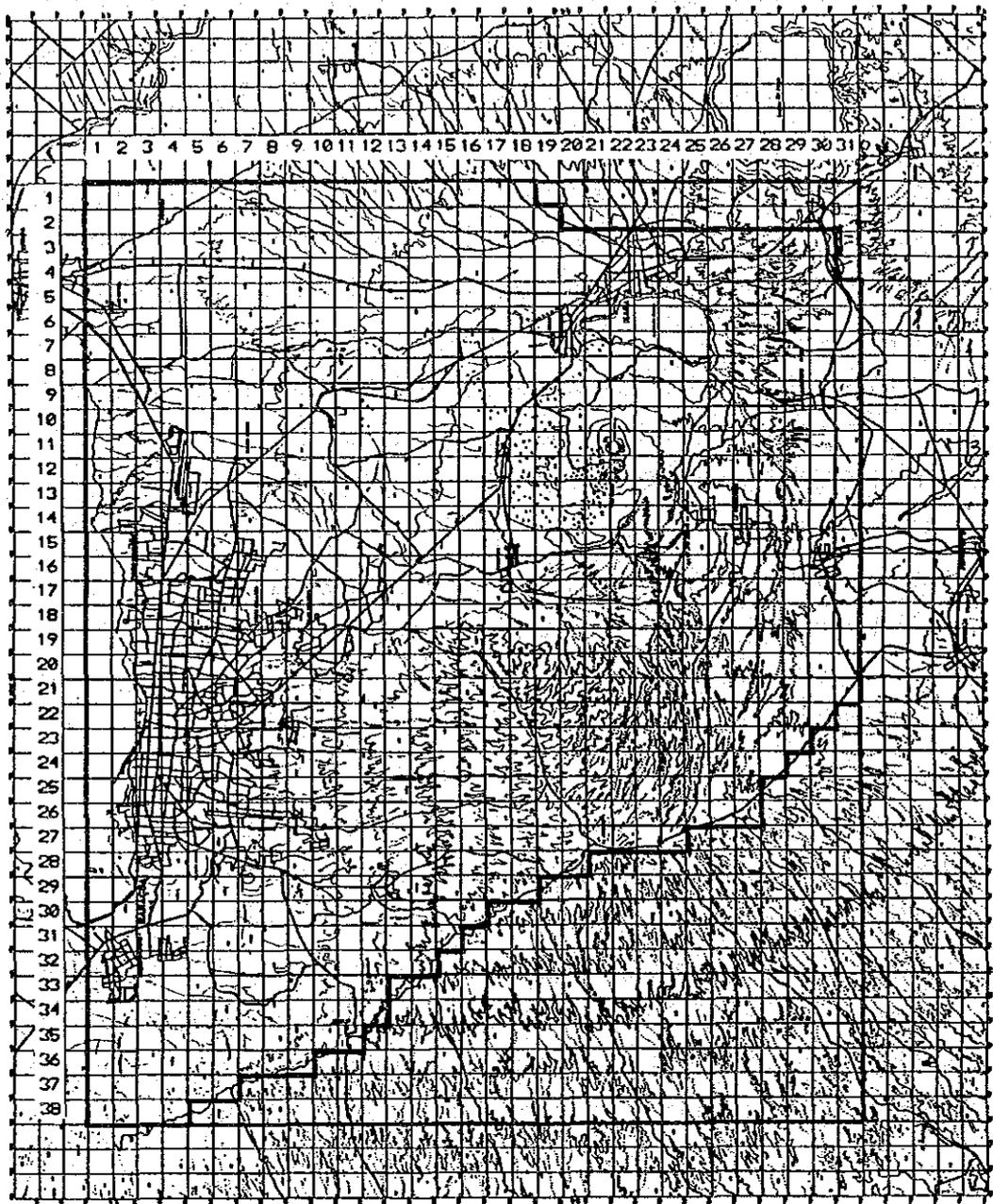
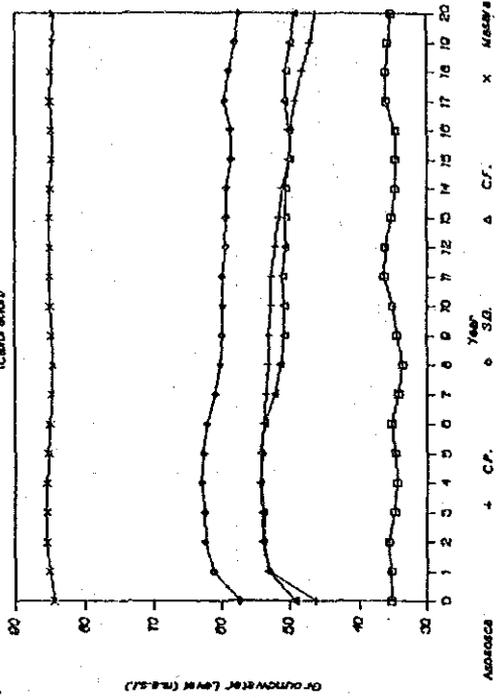


図5.2.1 モデルの対象地域

Simulated Groundwater Level (Calibration)



Simulated Groundwater Level (Calibration)

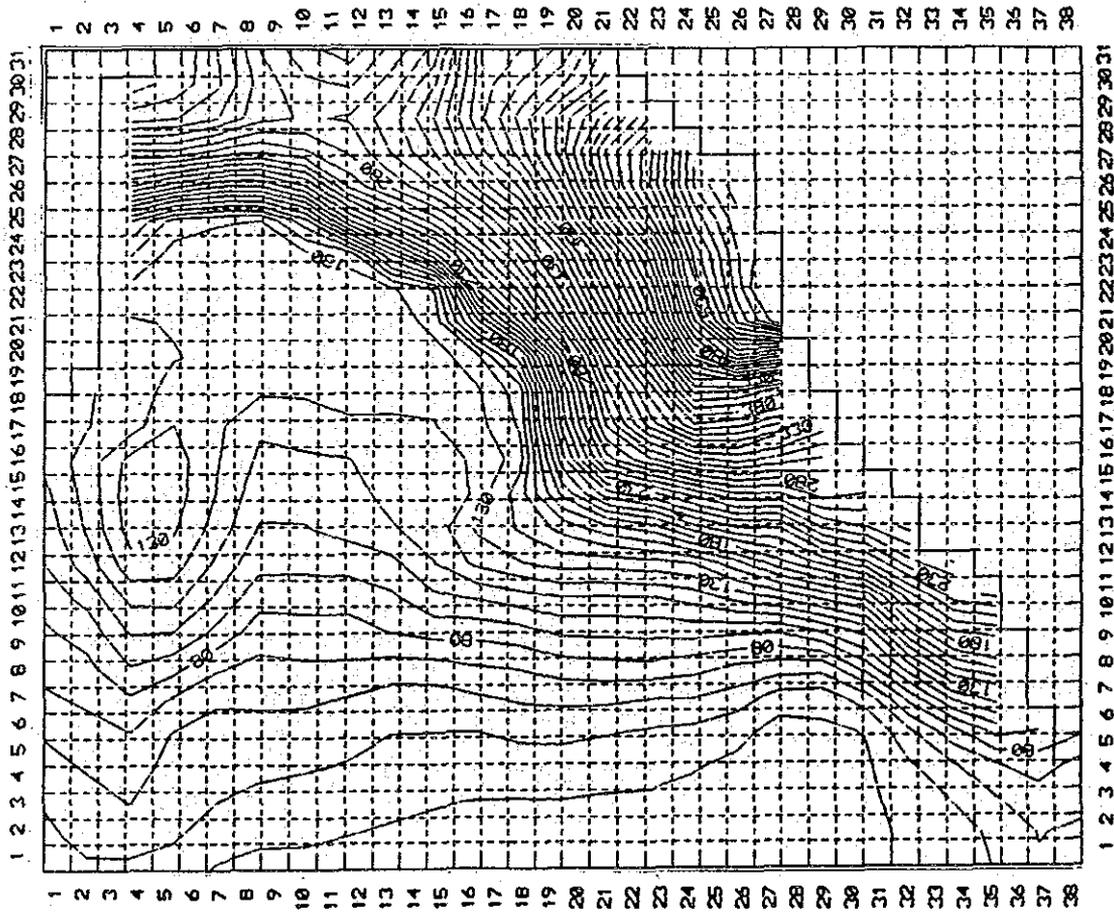
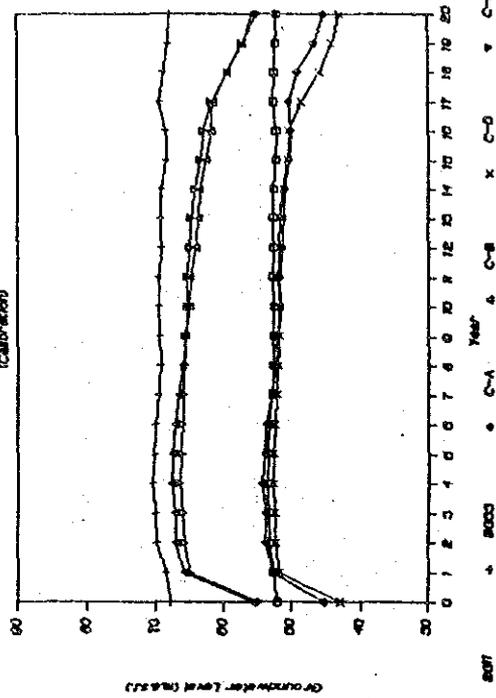


図5. 2. 2 定常計算による1991年地下水水位

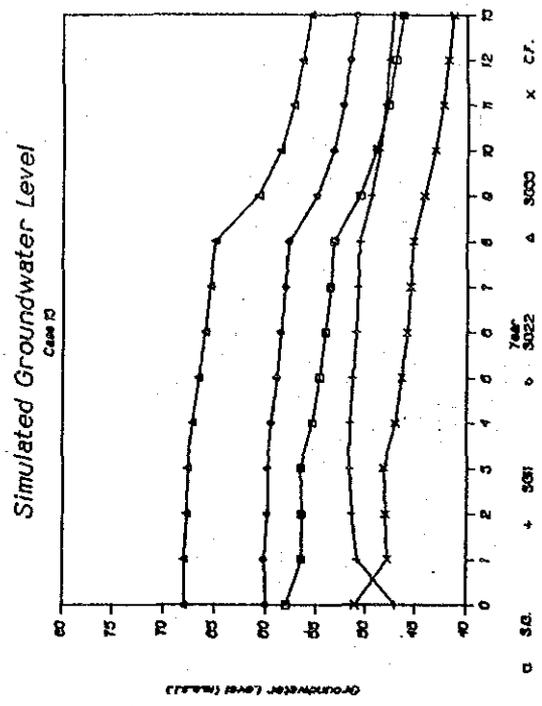
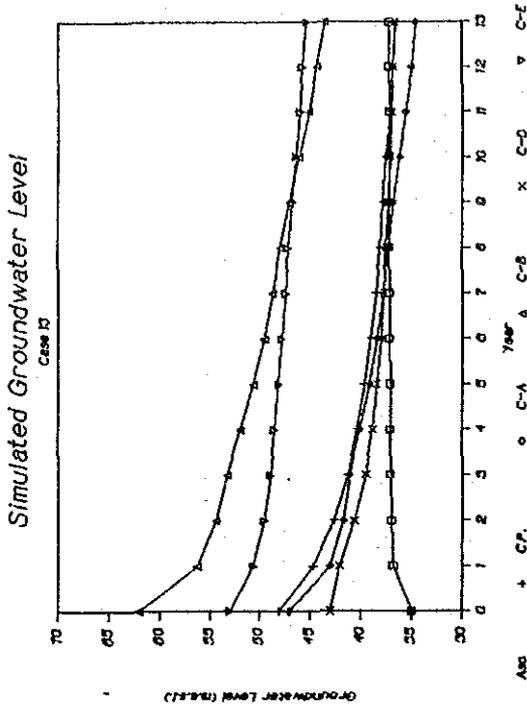
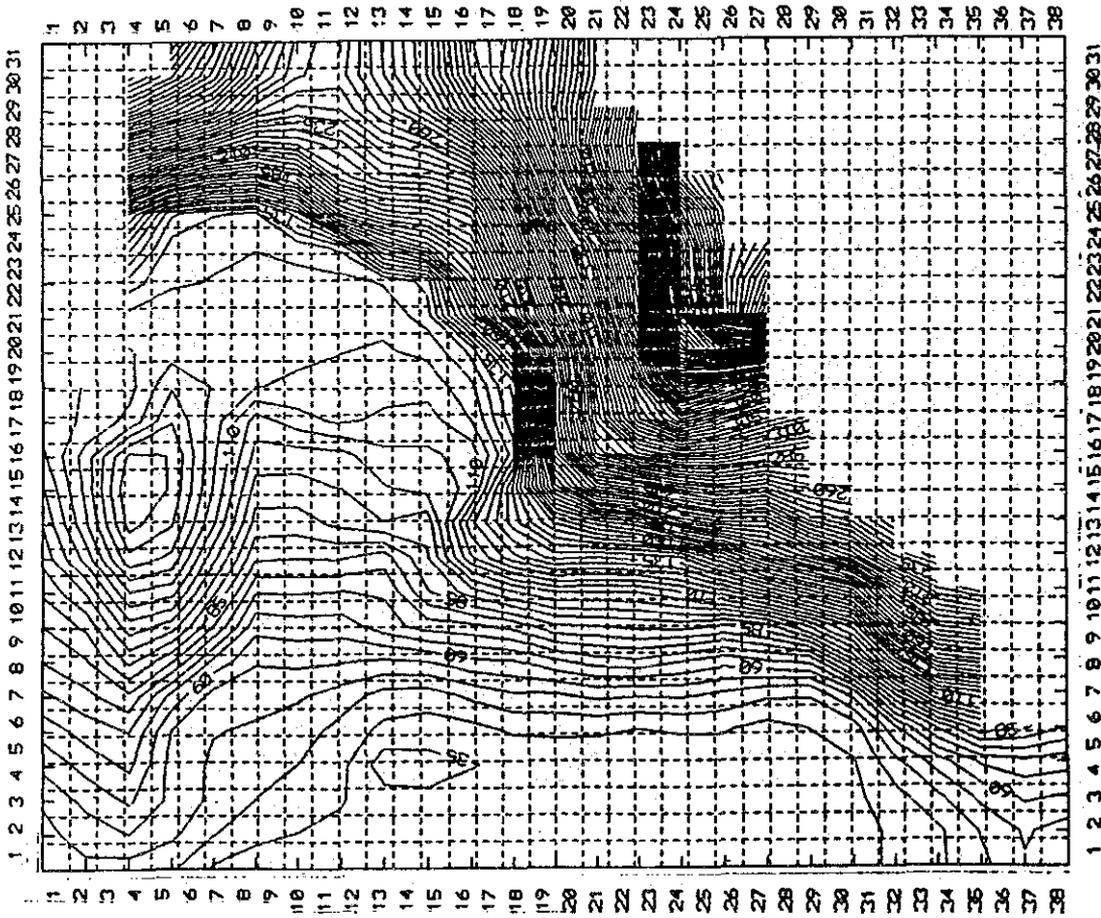


図5. 2. 4 北テクアテンデベ、サバナグランデ-コフオラディア地区開発実施による2006年の水位予測

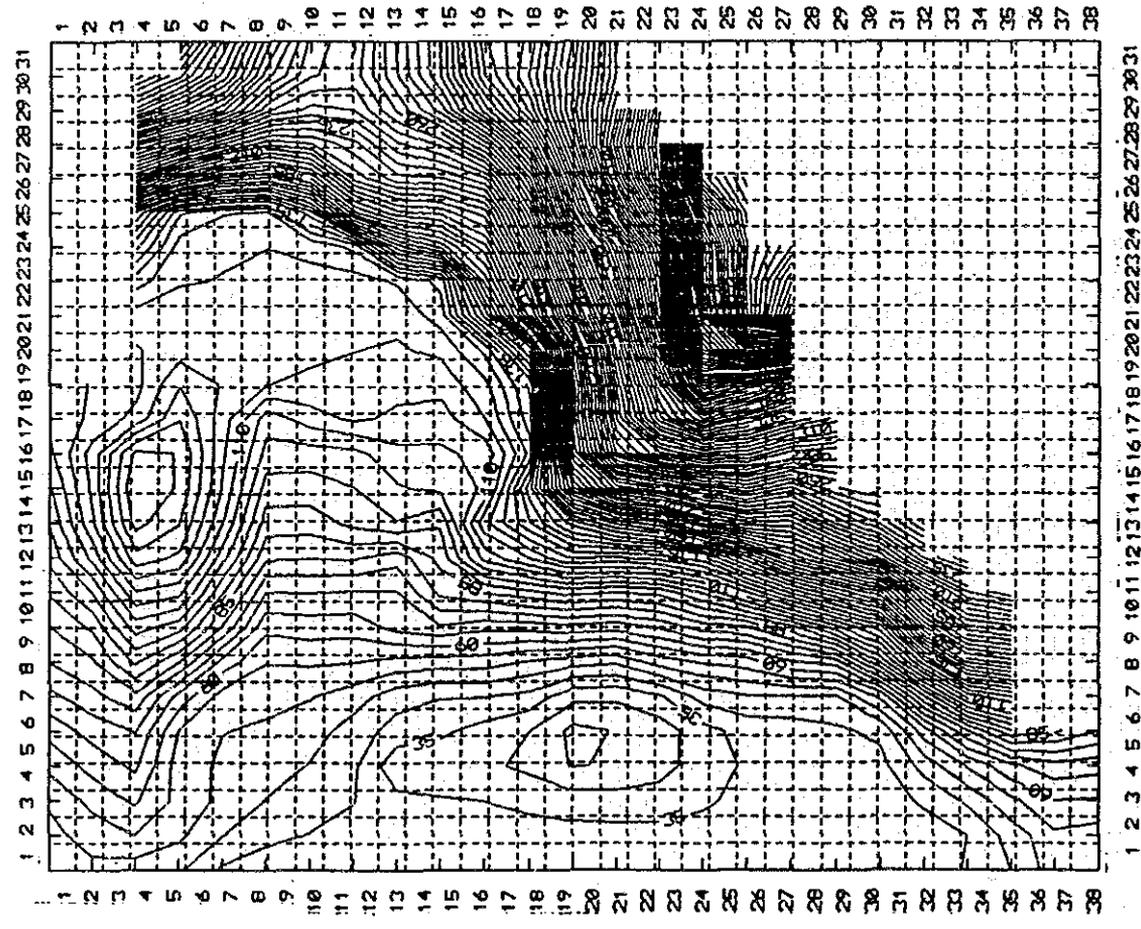
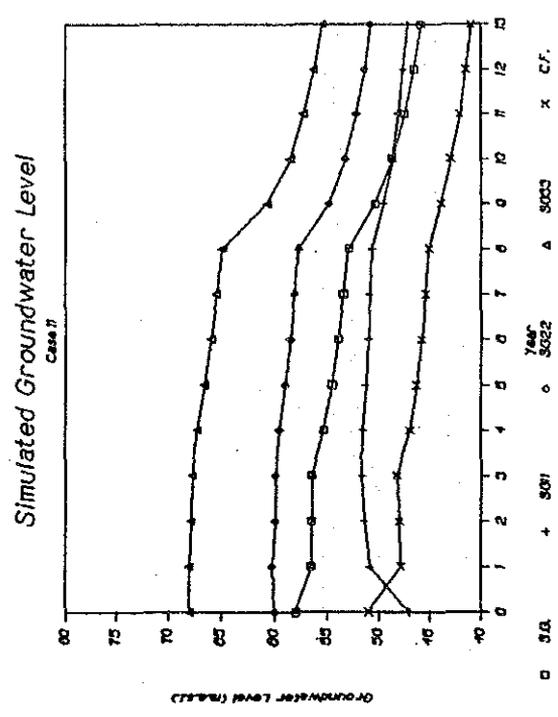
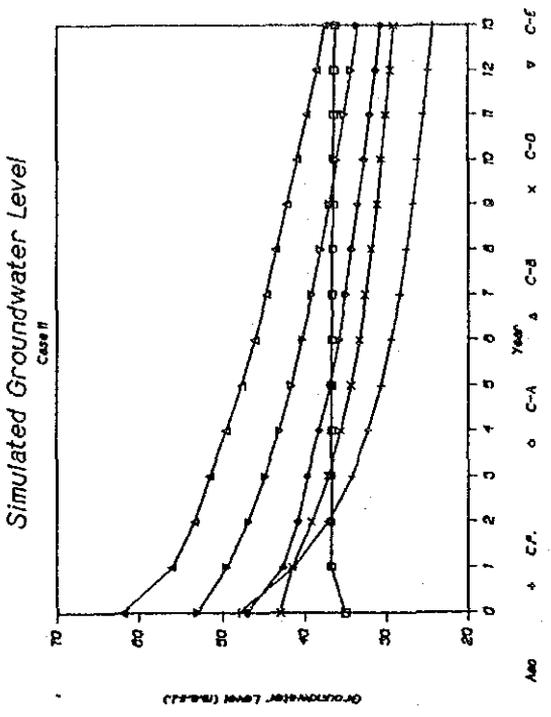


図 5. 2. 4 北デクアンデベ、サバナグランデ-コフォラディア地区開発実施による2005年の水位予測

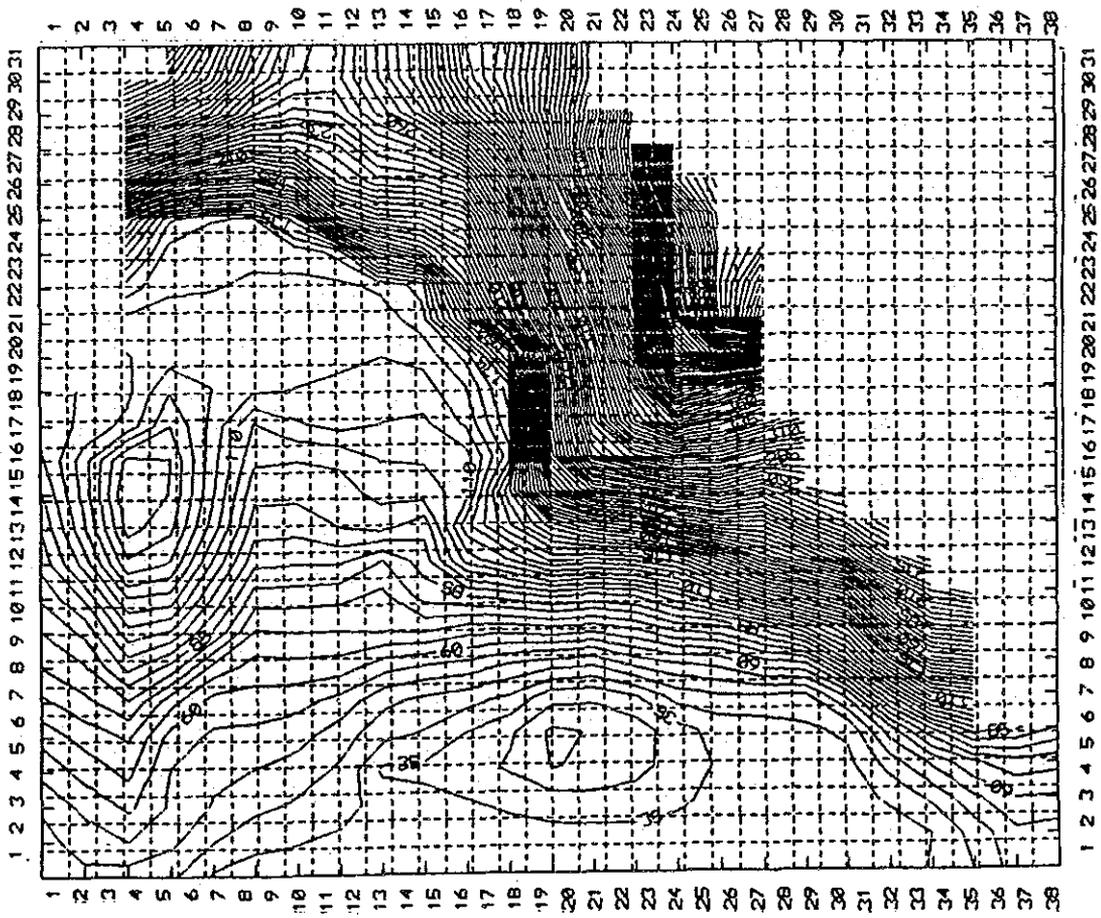
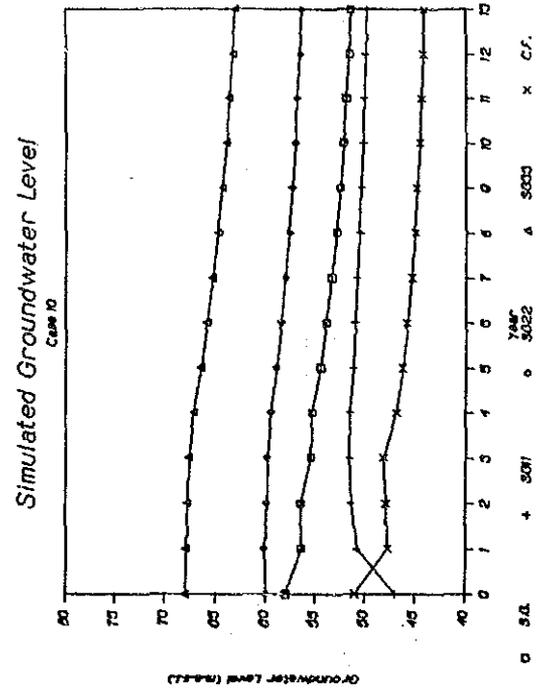
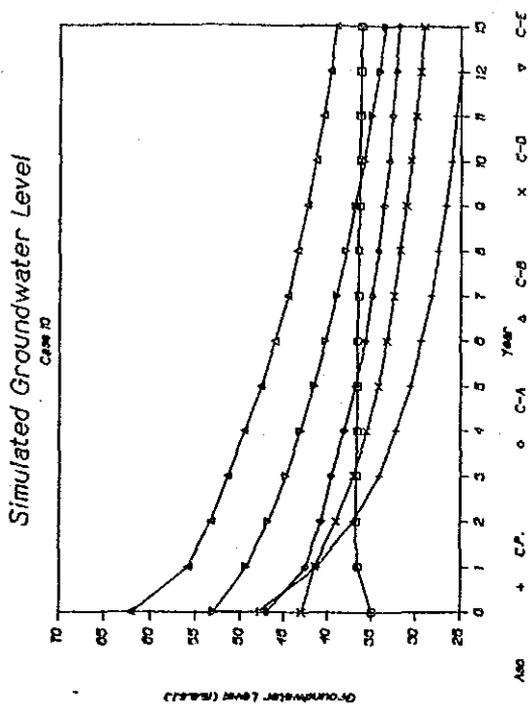


図 5. 2. 3 北部テクアンテンベ地区の開発実施による2005年の水位予測

6. 地下水開発計画

マカオ市の上水道計画は、第3章に述べたように既存設備の状況から見て、マカオ国の国家開発計画に緊急な課題であることが判明した。また、第4章において述べた水文地質調査の結果から、地下水資源の評価がなされ、地下水源は、安全な揚水を考慮する限りにおいては、一部地域において既に過剰揚水となつていることが判明している。

本項においては、これらの調査結果を踏まえてマカオ市上水道計画における地下水開発計画について述べる。

6. 1 開発計画の方針

- 1) 計画の目標年を2000年とする。
- 2) 計画対象地域は、マカオ市の7つのディストリクトのうち、独立給水区であるディストリクト1を除き、ディストリクト2-6とする。但しディストリクト7は、都市給水区からはずれているので、地方給水区として取り扱い、他は一律に都市部として分類する。
- 3) 計画給水人口は、マカオ市における2000年の人口とする。
- 4) 計画給水量の策定に当たっては、本件調査の対象地域内での地下水開発可能量が、計画給水量に対して不足している場合は、近隣の地域を開発して給水するものとし、計画給水量の変更は行わない。
- 5) 実施計画は、現在最も給水量が不足している、高高地区、高一高高地区を優先地区とする。
- 6) 本計画は、既存の最も適切な配水池へ送水する迄とし、配水計画は、他のプロジェクトでカバーされるものとする。

6. 2 計画給水区域 図-3.1参照

- 1) ディストリクト1は、マカオ市の西端部に位置し市の中心部とは山陵で隔てられており、水理地質的にもディストリクト2-7と異にしている。この地区は、独立給水区として存続することになるため、本計画から除外する。
- 2) ディストリクト2-6は、市の中心に位置し水理地質的には、中央部水理地区及び東部水理地区に属している。給水計画は、都市給水区として計画する。
- 3) ディストリクト7は、市の南部に位置し山間部にあるので、地域給水区として計画する。

6. 3 計画給水量の策定

都市給水における計画給水量は、次式から算定し、各項目は以下の通りとする。

$$\text{計画一日平均給水量}(Q) = \frac{\text{計画給水人口}(p) \times \text{一人一日平均給水量}(q)}{\text{有効率}(E)} \quad (\text{式-1})$$

1) 計画給水人口(p)

マカ7市の1991年の人口は、表-3.1に示す通り総人口1,164,103と推定された。人口増加率は、ディストリクト2-6の都市給水区については、1991-1995年を5.2%、1995-2000年を5.0%とし、ディストリクト7の地域給水区については、1991-2000年を通じて2.5%とした。表-6.1.(1)参照

2) 都市給水区における計画給水量

・一人一日平均給水量(q)

1992年における実測値において、平均的な家庭の一人1日当たりの平均使用水量は、173リットルであつた。また、マカ7市における家庭用水以外の公共用水、商工業用水は、1991年の実績値で、家庭用水の20%であつた。これらの結果から、本計画における一人一日当たりの平均給水量は、208リットル(55ガロン)とする。

・有効率

漏水を考慮した有効率は、1991年の推定値で73%であつたが、将来の改善の成果を見込み80%とする。

・計画給水量

計画給水量は、一日最大給水量をもつて計画値とする。一日最大給水量は、一日平均給水量の1.2倍とする。以上から、

$$\text{計画給水量} = 1.2 \times Q = 1.2 \times P \times 208 / 0.8 = 312 \times P (\text{liter/日}) \text{---} (82.5 \text{ガロン/人/日})$$

3) 地域給水区における計画給水量

地域給水区(ディストリクト7)における一人一日当たりの給水量は、INNAの基準に則り10ガロン/人1日とする。

計画給水量を表-6.1(2)に示す。2000年におけるディストリクト2-7の計画給水量は、129.73MGD(491,100m³/日)である。

6. 4 地下水開発計画

6. 4. 1 地下水開発可能量と揚水量

地下水開発可能量に対して1991年時点での揚水量とのバランスは、

- 1)西部水理区域----調査対象となった地域は西部水理区全域をカバーしていないが、調査範囲内での地下水開発ポテンシャルは6.44MGDである。1991年までに2.26MGDが開発されており、以降の開発可能量は4.19MGDの余裕がある。
- 2)中央水理区域----1991年時点での揚水量が、地下水開発可能量を20.16MGD上回っている。すなわち過剰揚水の状態である。
- 3)東部水理区域----開発可能量78.17MGDに対して、1991年までの開発量は28.39MGDであり、以降さらに49.78MGDの地下水開発が可能である。

本計画では、主としてディストリクト2-7について開発計画をたて、ディストリクト1については別計画の取扱いとする。1991年時点での揚水量には、マクア市への都市給水の他に農業用として0.9MGD(東部地域)、工場用として4.26MGD(中央地域)、更に地域給水用として4.81MGD(東部地域)が含まれており、水量のバランスは下記の通りである。以下数量の単位はMGDとする。

水理地区	地下水開発可能量	揚水量(マクア市給水+その他)	バランス
西部地域	6.44	2.25	+ 4.19
中央地域	30.11	50.27 (46.01+4.26)	-20.16
東部地域	78.17	28.39 (22.68+5.71)	+49.78
計	114.72	80.91 (70.93+9.97)	+33.81

6. 4. 2 地下水開発可能量と計画給水量とのバランス

地下水開発可能量と計画給水量とのバランスは、マクア市への計画給水量の他に現在給水されている農業用、工業用、地域給水を含めた水量とで対比されなければならない。各年毎の水量は下記の通りである。

但しディストリクト1を除く。 図-6.1参照

	地下水開発可能量	計画給水量(マクア市給水量+その他)	バランス
1991年	108.28	93.15 (83.18+9.97)	+15.13
1995年	108.28	112.24 (101.77+10.47)	- 3.96
2000年	108.28	140.90 (129.73+11.17)	-32.62

2000年には、当該地域での開発可能量は、計画給水量を32.62MGD下回っている。