

社会開発調査部報告書  
国際協力事業団 (JICA)

No. 02

ボリウエア共和国  
人的資源開発省大衆参加庁  
都市開発局基礎衛生部

# ボリウエア国 地方地下水開発計画調査

## 最終報告書

### 要約

平成8年6月

JICA LIBRARY



J 1131423 (4)

株式会社 環境工学コンサルタント  
住鉱コンサルタント株式会社

社調三

J R

96-076

ボリウエア共和国  
ボリウエア国地方地下水開発計画調査  
最終報告書  
要約  
平成8年6月  
702  
618  
555







国際協力事業団（JICA）

ボリヴィア共和国  
人的資源開発省大衆参加庁  
都市開発局基礎衛生部

# ボリヴィア国 地方地下水開発計画調査

## 最終報告書

### 要約

平成8年6月

株式会社 環境工学コンサルタント  
住鉱コンサルタント 株式会社



1131423 [4]

## 序 文

日本国政府は、ボリヴィア共和国政府の要請に基づき、同国の地方地下水開発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6年10月から平成8年3月までの間、3回にわたり、株式会社環境工学コンサルタントの高島健一氏を団長とし、同社及び住鉱コンサルタント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、ボリヴィア政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

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

終わりに、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8年6月

国際協力事業団

総裁 藤田 公郎

## 伝 達 状

国際協力事業団

総裁 藤田 公郎 殿

今般、ボリヴィア国地方地下水開発計画調査が終了しましたので、ここに最終報告書を提出致します。

本調査は、貴事業団との契約により、株式会社環境工学コンサルタントと住鉱コンサルタント株式会社が平成6年10月から21か月間にわたり実施してまいりました。調査団は、調査期間中3回にわたり現地調査を行い、ボリヴィア国政府及び関係機関との協議を行うとともに、その協力を得て、ボリヴィア国のチュキサカ県、オルロ県、タリハ県、サンタクルース県及びラパス県南部4郡を対象に水供給データベースを作成し、それを基に、各県の地下水開発戦略を策定いたしました。また、試掘調査、給水施設の試験施工、維持管理教育、衛生教育等のパイロットプロジェクトも実施いたしました。

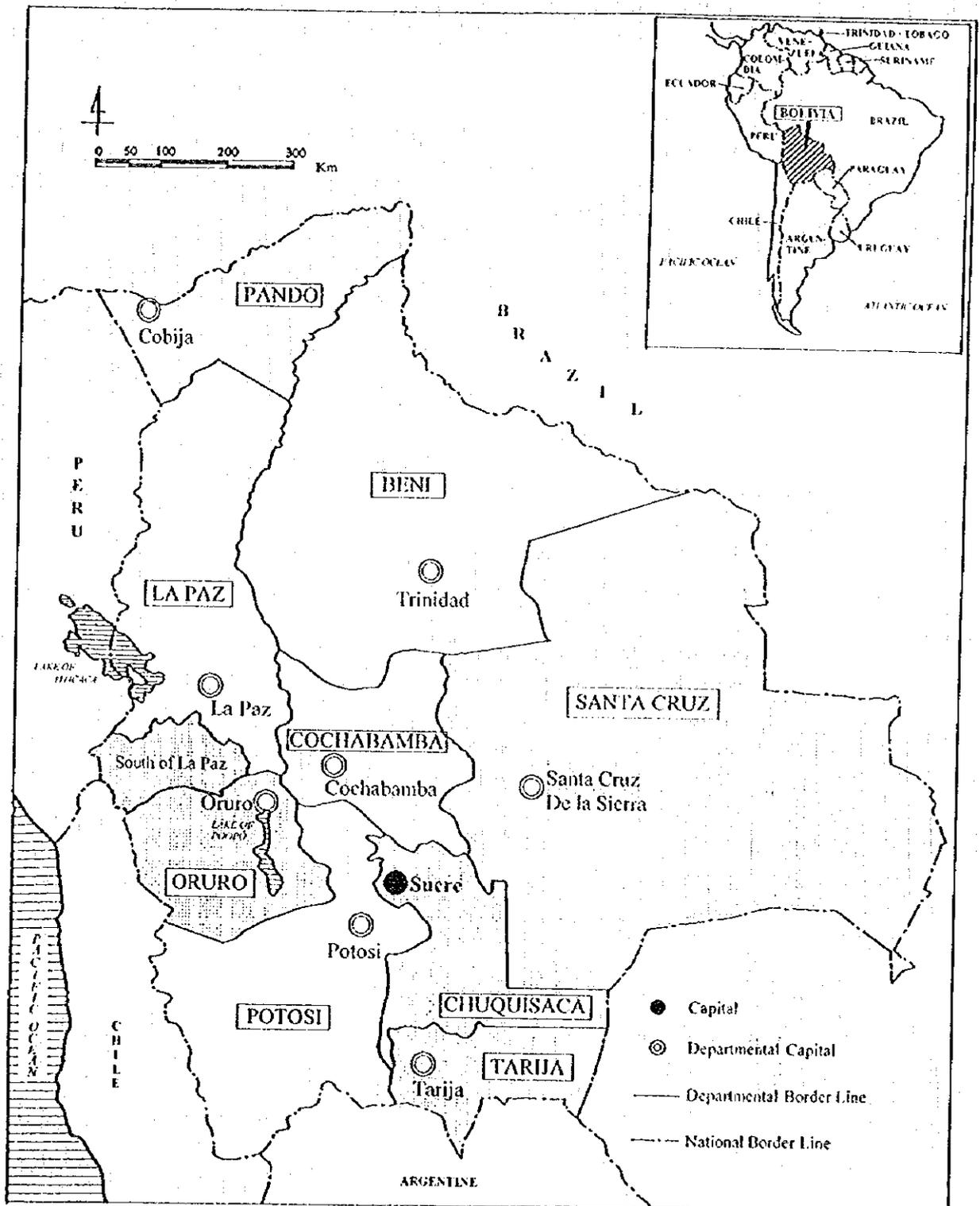
調査の実施にあたっては、貴事業団をはじめ、外務省、その他関係者に多大のご理解、ご協力を賜りお礼申し上げます。また、ボリヴィア国におきましては、人的資源開発省、対象5県、その他関係機関並びに在ボリヴィア大使館、貴事業団ボリヴィア事務所から貴重なご助言とご支援を賜ったことを付け加えさせていただきます。

本調査の成果が、ボリヴィア国における地方地下水開発並びに対象地域住民の生活条件の向上及び公衆衛生の改善の一助となることを切望する次第です。

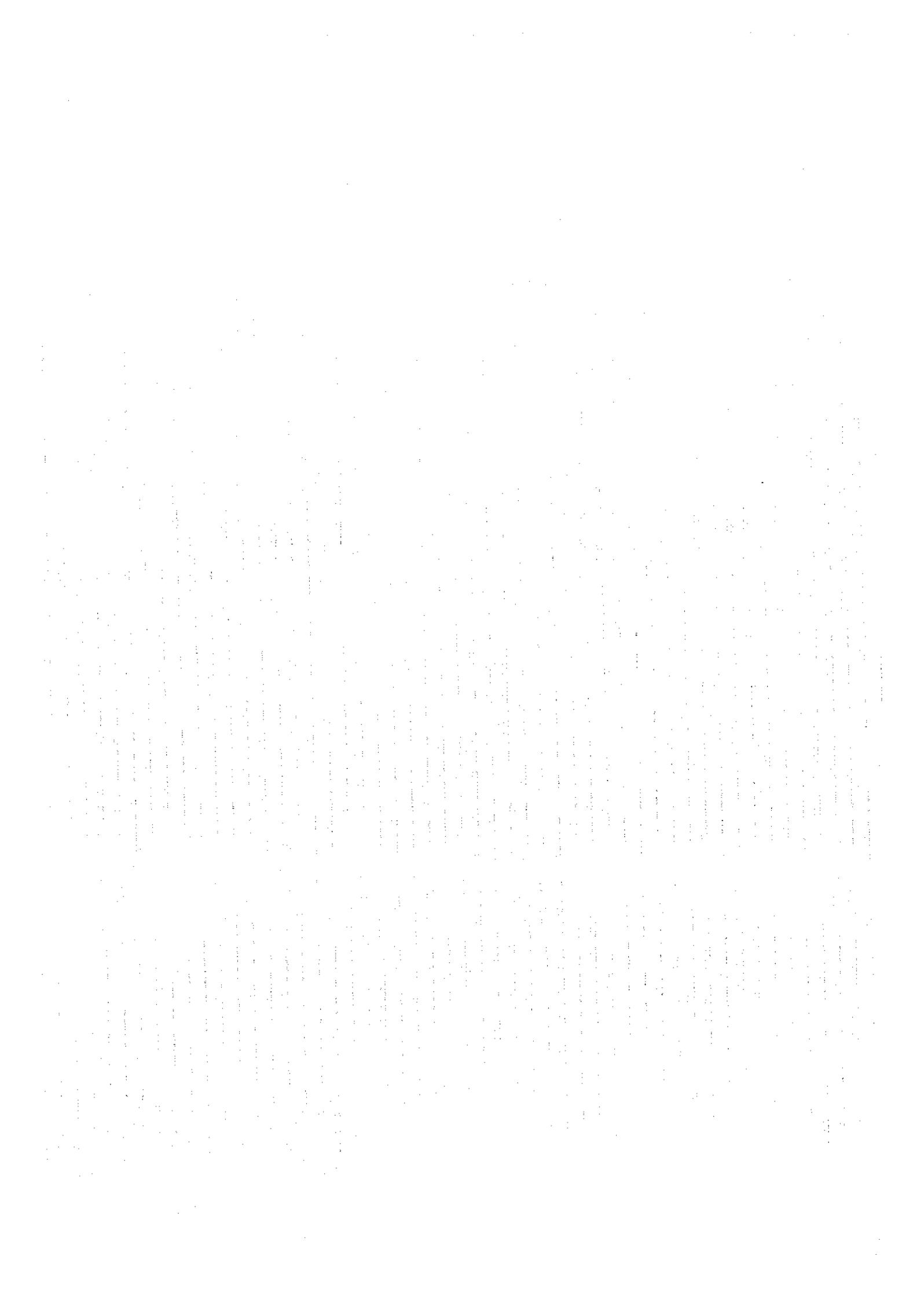
平成8年6月

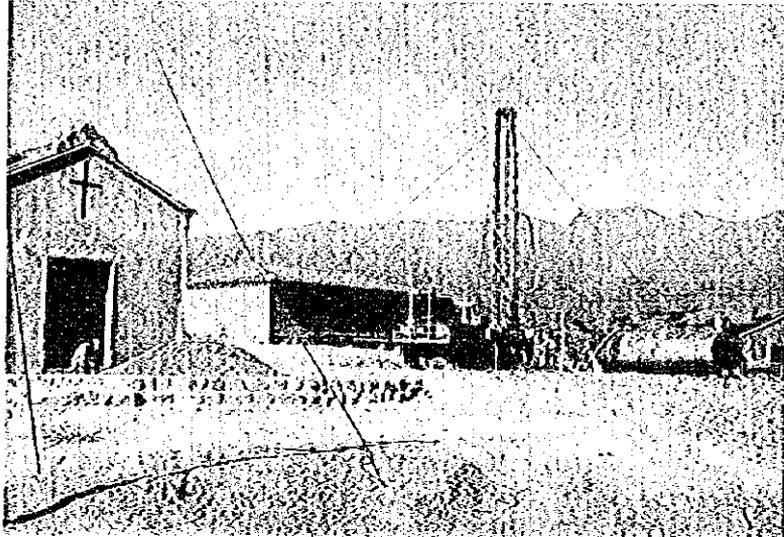
ボリヴィア国地方地下水開発計画調査

調査団長 高島 健一

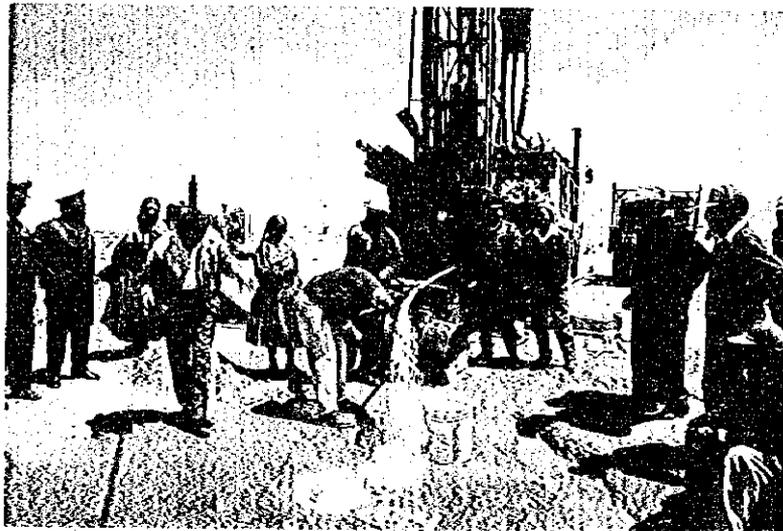


調査対象地域の位置図

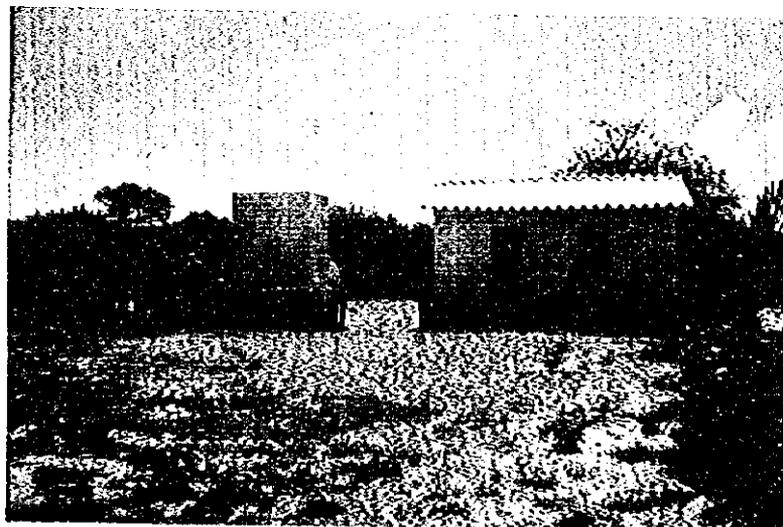




試掘調査（ラチョサ）



揚水試験（パタカマーヤ）



パイロット給水施設（カンボレオン）

## 計 画 概 要 書

### 1. 調査の概要

本調査は、チュキサカ、オルロ、タリハ、サンタクルースの4県並びにラバス県の南部4郡を対象に、水供給データベースを作成し、それを基に、地方地下水開発戦略を県ごとに策定するとともに、ラバス県を除く4県から選定された各1給水ブロックでのパイロットプロジェクトに関する水供給のフィージビリティ調査を実施したものである。

### 2. 計画対象地域における給水の現況と問題点

計画対象地域は、総面積53.2万平方キロメートル、県都を含む総人口 257万人（1992年センサス）で、ボリヴィア国の国土面積の48.5%、総人口の40.1%を占める。

県都を除く人口50人以上（サンタクルース県では 120人以上）の給水ブロックを対象として作成された水供給データベースによると、計画対象地域内の給水ブロック総数は 4,265であり、総人口は 140万人である。各県における給水の現況は表-1に示すとおりであり、5県平均の給水率は都市部が82%、農村部が23%で、給水システムの全くない給水ブロックが全ブロック数の71%を占めている。

ボリヴィア国における生活用水の供給は、都市部と農村部に大きな格差がある。給水システムのない農村集落が圧倒的に多く、用水不足は深刻である。

農村部での給水サービスの遅れの最大の原因は、水源開発の困難性にある。従来、表流水や浅井戸による水源開発は行われているが、十分な水量が得られず水質も問題が多い。また、既存の給水システムがある地区でも、乾季には水源が涸れる場合が多い。

計画対象地域における地下水は、開発ポテンシャルが高いにもかかわらず、機材、資金、

表-1 計画対象地域における給水の現況

県	人 口	現況給水率 (%)			現況給水率別のブロック数			
		都市部	農村部	計	60%以上	60%未満	給水無し	計
チュキサカ	289,129	88.5	16.4	19.6	131	135	957	1,223
ラバス南部	126,277	26.0	16.4	17.0	51	39	672	762
オ ル ロ	137,448	63.3	21.3	33.0	62	129	353	544
タ リ ハ	200,158	88.8	36.8	54.8	158	133	220	511
サンタクルース	652,135	83.8	26.4	51.5	221	186	818	1,225
計	1,405,147	81.7	23.3	40.5	623	622	3,020	4,265

(注) 水供給データベースによる。都市部は人口2,000以上の集落。

技術の不足のため開発が遅れており、生活用水の水源としての地下水の開発が必要とされている。

### 3. 水供給データベース

水供給データベースは、各給水ブロックにおける人口その他の社会経済一般データ、既存給水施設データ、既存井戸データ、図形データを収集しデータベース化したものである。入力データ数は、社会経済一般データが 4,265、既存給水システムデータが 890、井戸データが 808であり、これらの数値データは 254項目からなる。図形データが12種からなり、井戸柱状図の入力データ数は 175である。

### 4. 地方地下水開発戦略

本地下水開発戦略は、地方住民に対する生活用水の安定供給を目的とするものであり、県ごとに目標給水率、事業化戦略、事業形態を設定して地下水開発事業についてのケーススタディを行い、その結果に基づき提案プロジェクトを選定し、事業実施計画を策定した。

#### 1) 計画目標

計画目標年は、事業実施の緊急性を考慮して2000年（事業年度5年間）とし、今後5年間に実施可能な事業規模を検討し、目標給水率を県ごとに都市部と農村部に分けて設定した。計画対象地域全体の目標給水率は、都市部89%、農村部38%、平均54%であり、現況40.5%に対して13.5ポイントの増加となる。

#### 2) 提案プロジェクト

本地下水開発戦略における提案プロジェクトの対象ブロック数は、表-2に示すとおり、5県合計で 456である。裨益人口は、計画目標年次における区域内人口の16%を占める。ま

表-2 提案プロジェクトの概要

県	総人口 (2000年)	目標給水率 (%)			計画対象 ブロック数	裨益人口	リグ 台数
		都市部	農村部	計			
チュキサカ	312,073	90	30	33	98	57,295	2
ラバス南部	119,750	80	30	34	46	19,957	1
オルロ	139,800	80	40	51	72	31,009	1
タリハ	245,262	90	50	65	85	35,128	2
イソタクルス	794,792	90	40	62	155	112,396	3
合計	1,611,677	89	38	54	456	255,785	9

(注) リグ台数は、5年間以内での掘削工事完了に必要な台数を示す。

た、提案プロジェクトを5年間で実施、達成するために必要な井戸掘削機材(リグ)の台数は、5県合計で9台と算定される。

### 3) 開発実施組織

本事業における井戸掘削工事の実施機関は、県 (Prefectura) とし、給水施設の建設工事は、県又は市役所が実施するものとする。完成後の施設の維持管理は、県の管轄、指導の下で、各集落の住民によって構成された水組合が自主管理するものとする。

### 4) 概算事業費

井戸掘削機材の調達と、機材運用の技術指導のための1年間の掘削工事を、外国援助による無償資金協力によって実施するものとした。本プロジェクト実施に要する事業費は表-3に示すとおりであり、5県全体の総事業費は7,130万ドルで、そのうち国外資金3,950万ドル、国内資金3,180万ドルとなる。

### 5) 事業実施計画

対象ブロックのうち、人口の多いブロック、給水率の低いブロック、井戸掘削が容易なブロックの開発優先順位が高いものとした。さらに、掘削機材の作業・移動効率を考慮して、優先度の高いブロックが多くアクセスのよい地域から事業を開始し、徐々に周辺部に事業を展開していくという方針のもとに、掘削期間と事業費の平準化を図って事業実施計画を策定した。年次別の掘削計画は表-4に示すとおりである。

## 5. パイロットプロジェクトのフィージビリティ調査

パイロットプロジェクトは、水源開発可能性の調査のため物理探査、試掘調査(9カ所)を行うとともに、4カ所の給水ブロックを対象として、給水施設を試験施工し、給水施設の

表-3 概算事業費 (単位: 百万ドル)

県	投資額			事業費内訳			
	国外資金	国内資金	計	リグ調達	給水機材	掘削工事	給水工事
チュキサカ	9.0	6.9	15.9	7.8	3.2	2.0	2.9
ラバス南部	4.5	3.0	7.5	4.1	1.4	1.0	1.0
オルロ	5.7	4.4	10.1	4.2	2.3	2.0	1.6
タリハ	9.0	5.4	14.4	7.8	2.7	2.1	1.8
サソカトルス	11.3	12.1	23.4	9.6	4.9	3.3	5.6
合計	39.5	31.8	71.3	33.5	14.5	10.4	12.9

(注) リグ調達と1年目の掘削工事は国外資金、給水工事と2年度以降の掘削工事は、ボリヴィア国内資金による。給水機材は、ケーシング・スクリーン・ポンプ・発電機の調達費を示す。

表-4 年次別掘削計画の概要

(単位 m)

県		第1年次	第2年次	第3年次	第4年次	第5年次	計
チュキサカ	ブロック数	19	28	20	20	11	98
	掘削延長	1,300	2,050	2,300	3,000	2,950	11,600
ラバス南部	ブロック数	7	14	9	9	7	46
	掘削延長	450	1,000	1,350	1,450	1,200	5,450
オルロ	ブロック数	16	19	16	13	8	72
	掘削延長	1,950	1,900	2,400	2,050	2,100	10,400
タリハ	ブロック数	14	19	21	16	15	85
	掘削延長	1,550	2,600	2,450	2,900	3,250	12,750
サンタクルス	ブロック数	20	36	40	39	20	155
	掘削延長	2,100	4,350	4,600	4,500	5,100	20,650
計	ブロック数	76	116	106	97	61	456
	掘削延長	7,350	11,900	13,100	13,900	14,600	60,850

(注) 各県とも、5年間で掘削工事完了とする。

維持管理教育及び衛生教育の実験を行ったものである。対象ブロックの人口及び試掘調査の結果は表-5に示すとおりであり、試掘井戸の揚水量で各集落の水需要量をまかなうことができる。

パイロットプロジェクト集落を対象として、試掘井戸を利用した給水計画を策定するとともに、建設費と維持管理費を算定し、給水計画の実施可能性を検討した。

給水施設の建設費は、住民の費用負担能力をはるかに超えており、給水施設の建設は、公共投資により実施する必要がある。

日常の施設管理に必要な維持管理費は、最も条件の悪いカンボレオンでも、住民の支払い可能な料金の限度内にあり、住民の自主管理努力により維持管理が可能であると思われる。しかし、給水施設の持続的な維持管理のためには、外部からの支援が重要であり、県、市役所、民間業者による維持管理支援体制を確立する必要がある。

表-5 パイロットプロジェクト集落・試掘調査の概要

県	集落名	人口	掘削深 (m)	揚水量 (ℓ/秒)	静水位 (m)	動水位 (m)
チュキサカ	カンボレオン	237	411	2.25	190.0	282.9
オルロ	コルケ	1,558	100	2.0	6.5	26.1
タリハ	ラチョサ	371	127	7.55	(自噴)	-
サンタクルス	サンカルロス	480	260	10.0	57.5	93.0

## 6. 勧告

- 1) 地下水開発事業は、地方住民の水需要を充足するとともに、地域住民の生活水準の向上と民生安定、社会経済の発展に寄与する効果が大きく、早期実施を図るべきである。国及び県は、事業の実施を促進するため、責任分担、協力体制、必要資金の調達について、関係機関と協議すべきである。
- 2) ポリヴィア国政府及び各県は、地下水開発事業を継続的に実施していく意志と能力を有しており、国際協力により井戸掘削機材の調達と技術協力があれば、国、県、市の財政能力で実現可能であり、事業としてのフィージビリティが得られる。地方行政組織は、現在、改編中であり、旧開発公社から県庁への引き継ぎがスムーズに進められ、基礎衛生部門の組織強化が図られることが期待される。また、事業の運営体制、維持管理面からも、本プロジェクトは十分な妥当性をもつものとして評価される。
- 3) 本地下水開発事業は地方の散在集落を対象としており、実施主体は、県が適している。各県は、適正かつ効率的な運営管理を遂行するため、実施組織の強化、要員の確保、技術レベルの向上を図るとともに、事業実施体制、財政的基盤を確立すべきである。
- 4) 事業の実施に当たっては、対象地域の住民に対して、事業及び住民の責任の内容等を十分説明し、積極的な住民参加を図るべきである。施設完成後の維持管理は、県の管轄、指導のもとで、各受益集落の住民が自主管理するものとする。県は、住民を対象として給水施設の維持管理教育、衛生教育を実施するとともに、持続的な維持管理のための支援体制の強化を図る必要がある。給水施設の維持管理体制の確立に当たっては、積極的に婦人の参加を図るべきである。
- 5) 地方集落における水利用の状況、給水事業の実施状況等に関して、情報管理システムを確立する必要がある。水供給データベースの更新、拡充に努めるとともに、給水計画の策定、地下水開発事業の管理等に活用を図るべきである。

序 文  
伝達状  
地図・写真  
計画概要書

## 目 次

第1章 序章 .....	1
1. 1 調査の背景 .....	1
1. 2 調査の目的 .....	1
1. 3 調査対象地域 .....	1
1. 4 調査の内容 .....	2
1. 5 調査実施体制 .....	3
第2章 計画対象地域の概要 .....	6
2. 1 社会経済及び土地利用 .....	6
2. 2 組織体制の現況 .....	7
2. 3 水利用及び給水の現況 .....	8
第3章 水供給データベース .....	10
3. 1 目的と作成方法 .....	10
3. 2 データベースの概要 .....	10
第4章 水理地質調査 .....	14
4. 1 自然条件 .....	14
4. 1. 1 地形・地質 .....	14
4. 1. 2 水系 .....	18
4. 1. 3 気象 .....	20
4. 2 現地調査 .....	23
4. 2. 1 物理探査 .....	23
4. 2. 2 試掘調査 .....	25
4. 3 地下水開発の可能性 .....	29
4. 3. 1 過去の地下水開発 .....	29
4. 3. 2 地下水開発ポテンシャルの評価 .....	35
4. 3. 3 地下水開発の条件 .....	42
第5章 地方地下水開発戦略 .....	43
5. 1 開発戦略の目的と基本構想 .....	43

5. 1. 1	開発戦略の目的	43
5. 1. 2	基本構想	43
5. 2	計画の目標	45
5. 2. 1	計画目標年次	45
5. 2. 2	目標給水率	45
5. 2. 3	給水サービス目標	46
5. 2. 4	水質目標	46
5. 3	開発戦略へのアプローチ	46
5. 3. 1	水供給データベースの作成	46
5. 3. 2	給水ブロックの類型化	46
5. 3. 3	事業化ケーススタディ	49
5. 4	提案プロジェクト	57
5. 4. 1	計画対象ブロックの選定	57
5. 4. 2	事業形態	58
5. 4. 3	開発実施組織	74
5. 4. 4	機材の数量及び事業費	74
5. 4. 5	事業工程計画	74
第6章	パイロットプロジェクトの実施	76
6. 1	パイロットプロジェクト集落の概要	76
6. 2	試験施設の建設	78
6. 3	ワークショップ	81
6. 4	パイロットスタディ	82
6. 4. 1	給水施設の維持管理教育	82
6. 4. 2	衛生教育	82
第7章	パイロットプロジェクトに係る給水計画	84
7. 1	概要	84
7. 2	給水施設計画	84
7. 2. 1	カンボレオン	84
7. 2. 2	コルケ	86
7. 2. 3	ラチョサ	87
7. 2. 4	サンカルロス	89
7. 3	コスト概算と実施可能性	91
7. 3. 1	建設事業費	91
7. 3. 2	維持管理費	93
7. 3. 3	給水計画の実施可能性	93

第8章 事業の実施計画 .....	95
8. 1 計画事業の概要 .....	95
8. 2 実施スケジュール .....	95
8. 3 給水計画 .....	96
8. 3. 1 基本方針 .....	96
8. 3. 2 計画給水量 .....	97
8. 3. 3 概略施設計画 .....	98
8. 3. 4 施設建設計画 .....	101
8. 4 井戸建設計画 .....	102
8. 4. 1 基本方針 .....	102
8. 4. 2 井戸掘削計画 .....	102
8. 4. 3 井戸掘削機材の調達 .....	103
8. 5 組織体制計画 .....	108
8. 5. 1 基本方針 .....	108
8. 5. 2 事業実施組織 .....	108
8. 5. 3 要員整備計画 .....	110
8. 5. 4 県別の開発優先順位 .....	111
8. 6 運営管理計画 .....	113
8. 6. 1 基本方針 .....	113
8. 6. 2 掘削機材の運営管理 .....	113
8. 6. 3 給水施設の維持管理 .....	113
8. 6. 4 衛生教育計画 .....	114
8. 7 投資計画 .....	115
第9章 事業評価 .....	120
9. 1 受益村落 .....	120
9. 2 料金支払い意思 .....	120
9. 2 財務評価 .....	120
9. 3 環境影響評価 .....	121
9. 4 総合評価 .....	121
第10章 結論と勧告 .....	122
10. 1 結論 .....	122
10. 1. 1 地下水開発の必要性 .....	122
10. 1. 2 地下水開発の可能性 .....	122
10. 1. 3 県別地下水開発戦略 .....	123
10. 1. 4 事業実施計画 .....	124
10. 2 勧告 .....	124

10. 2. 1	事業実施の基本方針	124
10. 2. 2	地下水の開発と保全・管理	125
10. 2. 3	住民の関与及び婦人の参加	125
10. 2. 4	環境配慮及び公衆衛生	126
10. 2. 5	計画・実施・管理組織の強化	126
10. 2. 6	情報管理	126

通貨換算率 (1996年3月)

1 ドル = 105円

1 ドル = 5.0ボリビアーノ

1 ボリビアーノ = 21円

## 第1章 序 章

### 1. 1 調査の背景

ボリヴィア国政府は、国連が提唱した1981年から1990年の「国際水道と衛生10ヶ年」の間、給水・衛生の普及率向上、水質・サービスの改善を図り努力したが、地方での社会基盤整備が遅れたため十分な成果が得られず、乳児の高死亡率、コレラの大量発生等保健衛生上の問題が改善されていない。

このような状況下でボリヴィア国政府は、1991年にあらためて「水道・衛生の国家開発計画」を策定し「すべての人に水を」をスローガンとして2000年までに対策の遅れている地方の給水率を30%から60%に引き上げることを目標に掲げた。

また、ボリヴィア国政府は、人的資源開発省都市問題庁基礎衛生部を上記国家計画を推進する責任機関に位置付ける一方、地方分権化の一環として事業実施は各県開発公社により推進させることとした。

このような状況を背景として、ボリヴィア国政府は1992年8月に、我が国に対し上記国家開発計画にかかる具体的な地下水開発計画の策定を正式要請した。これを受けて国際協力事業団（JICA）は1993年12月に事前調査団を派遣してS/Wを締結し、その後1994年10月から1996年6月まで開発調査を実施したものである。

### 1. 2 調査の目的

本調査の目的は、次のとおりである。

- 1) チュキサカ、オルロ、タリハ及びサンタクルースの4県並びにラパス県南部4郡を対象に水供給データベースを作成し、開発優先順位を付した2000年までの地下水開発戦略を県ごとに策定すること。
- 2) ラパス県を除く各県から選定された代表性のある各1給水ブロック、計4給水ブロックでのパイロットプロジェクトに関する水供給のフィージビリティ調査を行うこと。
- 3) 調査の実施を通じてボリヴィア側カウンターパートに対し、水供給に係る計画策定、給水施設整備、料金徴収等の事業実施体制整備、給水施設維持管理体制整備、地下水源開発技術等の水準向上を目的とした技術移転を行うこと。

### 1. 3 調査対象地域

本調査は、チュキサカ、オルロ、タリハ、サンタクルースの4県並びにラパス県南部の4郡（アロマ郡、G・ビジャローエル郡、パカーヘス郡、J・M・バンド郡）を対象とするも

のである。調査対象地域の総面積は 532,361平方キロメートルであり、総人口は、1992年国勢調査結果によると約 147万人（県都を除く）である。

調査は、行政区域の最小単位である集落を給水ブロックとして設定して行っており、県都を除く人口50人以上（サンタクルス県では 120人以上）の給水ブロックを調査対象範囲としている。

調査対象地域の各県の概要は、表1-3-1に示すとおりである。本調査で設定された給水ブロック数は、5県全体で 4,265ブロックである。

表1-3-1 調査対象地域の概要

	チュキサカ	ラパス南部	オ ル ロ	タ リ ハ	サンタクルス	計
総面積 (km <sup>2</sup> )	51,524	19,005	53,588	37,623	370,621	532,361
総人口 (人)	453,756	125,343	340,114	291,407	1,364,389	2,572,009
県 都	131,769	—	183,422	90,113	679,278	1,102,582
調査対象地域	321,987	125,343	156,692	201,294	667,111	1,472,427
郡 数	10	4	16	6	15	51
セクション数	27	20	30	11	46	134
カントン数	116	139	153	184	118	710
給水ブロック数	1,223	762	544	511	1,225	4,265

(注) 人口は、1992年国勢調査結果による。

#### 1. 4 調査の内容

本調査は、次の3つの段階に分け実施した。

##### [フェーズⅠ] 県別地下水開発戦略の策定（現地調査）

調査対象地域に係る地下水開発戦略策定に寄与するため、水供給データベースを作成した。それを基に、各給水ブロックに対する開発優先順位を付した地下水開発戦略を策定した。また、給水ブロックを特徴別に類型化したものの中から、フェーズⅡ及びⅢでの調査を実施するパイロットプロジェクトを4件選定した。

##### [フェーズⅡ] パイロットプロジェクトに関する詳細調査の実施（現地調査）

フェーズⅠで選定されたパイロットプロジェクトに関して水供給のフィージビリティ調査を行うとともに、衛生的な水の安定供給を目的として、給水施設の維持管理教育、及び衛生教育の実験を実施した。

##### [フェーズⅢ] パイロットプロジェクトに係る水供給計画の策定（国内作業）

フェーズⅡの調査結果を基に水供給計画を立案するとともに、維持管理計画、衛生教育計画を策定した。また、これらを県別地下水開発戦略にフィードバックさせた。

調査工程は表1-4-1に示すとおりであり、現地調査を1994年10月から1995年3月まで、1995年6月から1996年1月までの期間にわたり実施した。

本調査においては、フェーズIのデータ収集については原則として各県開発公社が実施し、調査団は収集方法、入力作業の指導を行った。また、収集されたデータをもとに分析、計画策定を行った。また、各県において自主的に開発計画策定、給水事業運営が行えるようワークショップ等を通じて地下水開発手法等に係る技術移転を図った。

## 1. 5 調査実施体制

本調査に係るボリヴィア側のカウンターパート機関は、人的資源開発省都市問題庁（1995年11月より大衆参加庁都市開発局）及び調査対象地域5県の各県開発公社（1996年1月より各県庁）であり、各組織の基礎衛生部が実施機関となった。

調査団は、（株）環境工学コンサルタントと住鉦コンサルタント（株）の共同企業体がJICAから指名されて調査を実施した。

ボリヴィア側カウンターパート及び調査団員の名簿は、次のとおりである。

### 人的資源開発省大衆参加庁都市開発局基礎衛生部（DINASBA）

Ing. Jorge Carderón Monterde	プロジェクト・マネージャー
Arq. Emira Mérida	コーディネーター
Ing. José Luis Panozo	衛生工学/社会学
Ing. Yamil Maire	水文地質
Ing. Reynaldo Gonzales	システム・エンジニア
Tec. Luis Ojopi	システム・エンジニア
Sra. Maria del Rosario Cabrera	システム・エンジニア
Lic. Max Paredes	経済学
Lic. Maria E. Godoy	経済学
Ing. Luis Chumacero	社会学

### チュキサカ県

Ing. Alfred Zelada E.	コーディネーター
Ing. Jorge Fiengo	水文地質/地理学
Ing. Jorge Fraija	システム・エンジニア/社会経済
Ing. Ignacio Ramirez	削井監理
Lic. Ramiro Martínez	社会経済
Ing. Ricardo Gonzales	コーディネーター(旧)

### ラパス県

Ing. Ricardo Quisbert P.	コーディネーター/給水計画
Ing. Alfredo Arias	地質学
Ing. Ricardo Anda	システム・エンジニア

Ing. Luis Mejía E.  
Arq. Samuel Vasquez  
Ing. Sergio Valdivia

システム・エンジニア  
社会経済  
コーディネーター(旧)

オルロ県

Ing. Mario Ramirez V.  
Ing. Marco Antonio Rosas  
Ing. Abel Sangueza  
Ing. René Leyva  
Lic. Adolfo Morales  
Ing. Wilfredo Rossel Crespo

コーディネーター/給水計画  
給水計画/衛生工学  
水文地質/地理学/削井監理  
給水計画  
社会学  
システム・エンジニア

タリハ県

Ing. Roberto Mérida  
Ing. Hernán Villena  
Lic. Marina Reyes  
Tec. Carlos Martínez  
Ing. Pedro Dubravcic

コーディネーター/削井監理  
給水計画/水文地質  
社会学/経済学  
システム・エンジニア  
コーディネーター(旧)

サンタクルース県

Ing. Milton Berbetti A.  
Ing. Eugenio Verde Ramo  
Lic. Mariela Rivera  
Lic. Silvia Garnica  
Ing. Ramiro Burgoa  
Tec. Emilio Pedraza  
Ing. Victor Maldonado

コーディネーター/水文地質  
給水計画  
社会学  
経済学  
システム・エンジニア  
削井監理  
削井監理

JICA調査団

高島 健一  
西元 弘隆  
小田垣 政雄  
小川 孝雄  
成田 博厚  
ギド・アクリオ  
伊藤 正則  
望月 典雄  
ゲン・ミ・トゥアン  
四十万谷 健  
智田 明夫  
尾関 年光  
大越 教弘

総括  
水文地質  
水質・環境  
物理探査  
給水計画・維持管理計画  
社会分析・WID  
組織制度・衛生教育  
経済・財務分析  
システム・エンジニア  
削井指導  
削井指導  
削井指導  
削井指導





## 第2章 計画対象地域の概要

### 2. 1 社会経済及び土地利用

#### 1) ボリヴィア国の概要

ボリヴィア国は、南米大陸の中央部に位置する総面積 109.9万平方キロメートルの内陸国であり、主要産業は、農業及び鉱業である。1992年国勢調査の総人口は 642万人であり、都市人口の比率が58%を占め都市化が進んでいる。1995年現在の人口は、約 740万人と推計されている。1993年度のGDPは、1人当たり約 900ドルであり、南米の最貧国の一つに含まれている。

#### 2) 計画対象地域の概要

計画対象地域は、ボリヴィア国の国土面積の48.5%、総人口の40.1%を占める。また、ラパス南部の人口は、ラパス県全体の16%を占めている。

本調査で作成された水供給データベースによると、計画対象地域の給水ブロック数は、合計 4,265に達しており、そのうち人口 2,000人以上の中小都市が60ブロック、人口 500人から 1,999人の中村落が 271ブロック、人口 499人未満の小村落が 3,934ブロックを占める。

#### 3) 土地利用

ボリヴィアは、南米大陸の中央部に位置し、北部及び東部をブラジル、西部をペルー、南部をパラグアイ及びアルゼンチンに接する内陸国である。国土面積は約 110万平方キロメートルであり、地理的及び社会経済条件に基づき、①アルチプラーノ高原地域、②丘陵地域、③東部平原地域に区分される。

①アルチプラーノ高原地域は、国土面積の38%、人口の53%を占め、ジャガイモ等の農業が行われている。この国の主要産業の一つである金属鉱山はほとんどこの地域に分布している。

②丘陵地域は、国土面積の13%、人口の27%を占め、大半は山地であり、都市は比較的大きな盆地か山間の平野に分布している。伝統的な農業地帯であるが、降雨量が少なく1戸当たりの耕地面積は少ない。

③東部平原地域は、国土面積の59%、人口は20%を占める。地形、気象条件に恵まれ農業生産、林業生産が活発で、石油、天然ガスを産する。

ランドサットを利用した土地利用区分資料によると、農耕地面積は34,600平方キロメートル（国土面積の 3.1%）であり、牧草地が 266,500平方キロメートル（24.3%）、森林が 556,700平方キロメートル（50.6%）、荒地が178,000平方キロメートル（16.2%）となっている。高原地域及び丘陵地域では、所有地の一部を順繰りに耕作するため休耕地が多く、季節農耕地が農地面積全体の78%を占める。作付面積の多い農作物は、とうもろこし、ジャガイモ、米、大麦、小麦、大豆、砂糖きび、キヌアの順となっている。また、東部平原では、

焼畑農業が多く行われている。

草地の多くは、東部平原に分布するが、多くは雨季水没する地域や乾燥地帯であり、自然牧草地として利用されているにすぎない。

森林は、北部アマゾン地域に熱帯降雨林が広がっており、タリハ県、チュキサカ県の溪谷丘陵地域の一部に亜熱帯乾燥林が分布しているが、立木密度は比較的疎である。アルチプレーノ高原地域には森林の分布はほとんど皆無であり、東部平原地域では森林の減少が進んでいる。

## 2. 2 組織体制の現況

ボリヴィア国の行政組織は、国、県 (Departamento)、郡 (Provincia)、セクション (Seccion)、カントン (Canton)、市 (Municipality) 及び町村 (Comunidad, Localidad) に区分されているが、中央政府における水道行政は、人的資源開発省の都市問題庁が担当しており、その中の基礎衛生部 (DINASBA) が計画策定を行っている。ボリヴィア国政府は、1992年2月に「水と衛生の国家開発計画 (Agua Para Todos)」を策定し、2000年までに都市部の給水率を75%から80%に、農村部の給水率を30%から60%に引き上げることを目標として掲げている。なお、都市問題庁は、1995年11月の組織再編により大衆参加庁都市問題局となっている。図2-2-1に中央政府の基礎衛生関連組織図を示す。

ボリヴィア国の給水サービスは、都市地域では、各市役所の水道公社が運営しているが、地方村落における水道計画や給水施設の建設は、従来、各県開発公社 (CORDES) が中心的な役割を果たしていた。開発公社は、各県における公共投資と市町村の強化を主要任務としており、職員数300~600名の組織であったが、地方分権法 (1995年7月公布) の1996年1月1日施行によって解散された。旧公社の財産・人員は県庁 (Prefectura) に移管されており、今後は県庁が、旧公社の業務を引き継いで実施していくこととなっている。図2-2-2に県の基礎衛生関連部門の組織図を示す。

給水事業等の実施に必要な地方開発財源は、大衆参加法 (1994年4月公布) により、従来の中央政府によるコントロールから、セクションの人口規模に応じて直接、市役所に配布されることとなった。その結果、各市町村は独自の判断で公共投資を実施できるようになって来ており、給水事業に対する投資額は増加する傾向にある。また、地方分権法の主目的の一つである県と町村役場との連携が強化されることが期待されている。

地方村落における給水施設の維持管理は、住民が水組合や水協同組合を組織して行っており、1世帯当たり月に10ボリビアーノ程度の料金を徴収している例が多い。既存施設がなく、適当な水源がないため、給水車による買水に月20ボリビアーノを支出している地域もある。

図2-2-1 中央政府の基礎衛生関連組織図（1995年11月から）

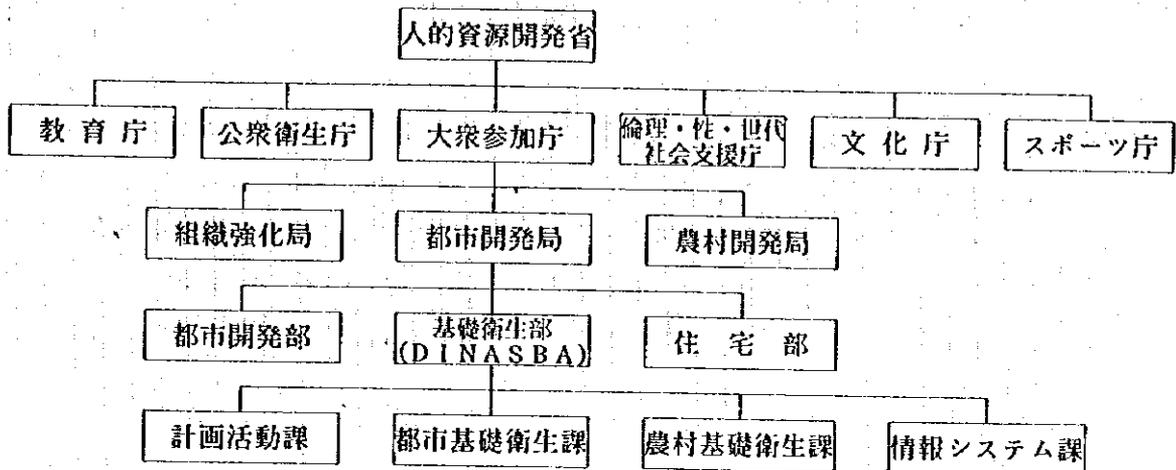
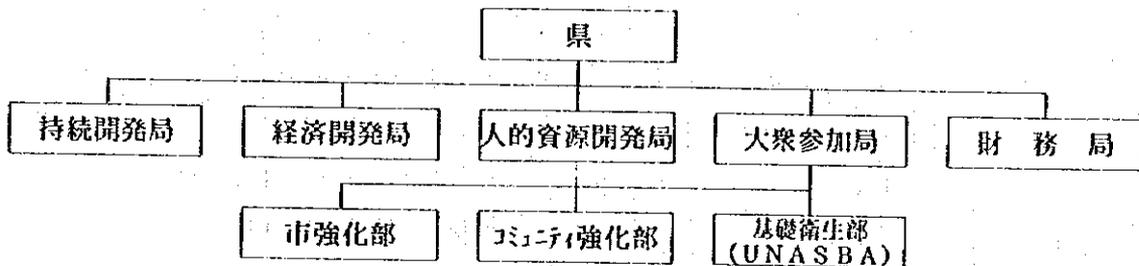


図2-2-2 県の基礎衛生関連組織図（1996年1月から）



### 2. 3 水利用及び給水の現況

水供給データベースによると、計画対象地域全体の現況給水率は、県都を除いて平均40.5%となっており、各県における給水状況別の給水ブロック数及び人口分布を表2-3-1に示す。人口2,000人以上の都市部の給水率は81.7%であるが、人口2,000人未満の農村部の給水率は23.3%にしか達しておらず、給水システムの全くないブロックが3,020あり、全ブロック数の71%を占める。

各県における現況給水率及び未給水人口は、チュキサカが19.6%、232,500人、ラバス南部が17.0%、102,800人、オルロが33.0%、92,000人、タリハが54.8%、90,500人、サンタクルスが51.5%、316,200人となっている。

給水サービスのない村落において、現在住民の利用している水は、手掘り井戸、湧水、溜め池、雨水等を水源とするもので、生活用水として不適切なものが多い。現況の水源としては、アルチプラーノとサンタクルス北部の平野部では井戸水、山麓丘陵地帯では表流水の

表2-3-1 給水状況別の給水ブロック数・人口の分布

県	給水率60%以上		給水率1~59%		給水率0%		計画対象地域全体		
	ブロック数	人口	ブロック数	人口	ブロック数	人口	ブロック数	人口	給水人口
チュキサカ	131	54,502	135	43,779	957	190,848	1,223	289,129	56,627
ラバス南部	51	19,249	39	20,868	672	86,160	762	126,277	21,466
オルロ	62	43,434	129	43,443	353	50,571	544	137,448	45,382
タリハ	158	113,689	133	40,228	220	46,241	511	200,158	110,300
サツカカス	221	356,029	186	86,638	818	209,468	1,225	652,135	335,885
合計	623	586,903	622	234,956	3,020	583,288	4,265	1,405,147	569,660

(注) 水供給データベースによる。県都を除く。

利用が多い。

水不足の状況は、依存可能な水源の種類、水源までの距離、降雨・乾燥の自然的特性等によって地域的に異なるが、いずれの地域も安全で衛生的な飲料水の絶対的不足が深刻な農村村落が多く、給水施設の整備、改善が緊急の課題となっている。

こうした給水サービスの遅れは、①自然地理的条件、②水資源開発の遅れ、③給水計画・水資源開発に係る技術・人員・資金の不足、④既存施設に対する維持管理サービスの欠如等によるものであるといえる。

地方農村部における用水開発、給水施設の整備は、従来、各県開発公社、市役所の公共機関によるもののほか、各国援助機関、NGO等によって浅井戸・湧水・伏流水等を水源とするプロジェクトが進められてきたが、散発的かつ局地的であり、絶対的な事業量が不足している。国内実施プロジェクトの建設財源は、国の投資機関からの借入れによるものが一般的で、地域開発基金(FNDR)と社会開発基金(FIS)がある。世銀プロジェクトの資料によると、過去に実施された給水施設の建設コストは、受益者1人当たり80ドル程度である。

井戸掘削機材は、チュキサカとオルロの2県が保有しているが、旧式で性能が悪く、十分な効果があがっていない。その他の県は、掘削機材を保有していないため民間業者に委託するほかなく、継続的な地下水開発の実施が困難なのが現状である。

## 第3章 水供給データベース

### 3.1 目的と作成方法

水供給データベースは、計画対象地域における水供給、地下水開発計画に係る基礎データを整備・集積すること、県別地下水開発戦略の策定に利用することを目的とするものであり、現在人口50人以上（サンタクルースは120人以上）の給水ブロックを最小単位として、人口等の社会経済一般情報、既存給水施設の状況、既存井戸データ等をコンピュータに収録しデータベース化したものである。

データベースの作成にあたって、調査団は、プログラムの開発、データ収集・入力方法の指導を行い、データの収集・入力は各県の旧開発公社が担当した。

給水ブロックの設定は、1992年センサスの集落区分を参考にして、縮尺1/50,000の地形図を基に設定した。計画対象地域の給水ブロック数は、5県合計で4,265である。入力データは1992年センサス及び各県が保有している既存資料を中心としており、現地調査により不足データの補足、確認を行った。

また、コンピュータの操作方法、データの入力・更新・処理方法は、データベースの操作マニュアルを作成するとともに、ワークショップ、セミナー等を通じてDINASBA及び各県のカウンターパートに対して技術指導した。

### 3.2 データベースの概要

#### 1) データ項目

データベースの内容は表3-2-1に示すとおりであり、数値データは254項目からなり8つのデータテーブルにまとめられている。社会経済一般データ、給水状況データ及び衛生状況データは、1992年センサス結果を基本としているが、多くのデータが給水ブロック単位で集計されていなかったため、現地調査でヒアリング等を行い確認、修正して入力した。既存給水システムデータは、大部分が現地調査により収集したものである。井戸データは、各県が保有しているもののほか、掘削業者、各国援助機関、NGOのデータを収集して入力した。図形データは12種からなり、このうち、県・郡・カントンの行政区域図は各県開発公社によって作成されたものであり、カントン図に各給水ブロックの位置が示されている。その他の図面は、原図の縮尺のまま入力している。

表3-2-1 水供給データベースのデータテーブルと収録データ項目

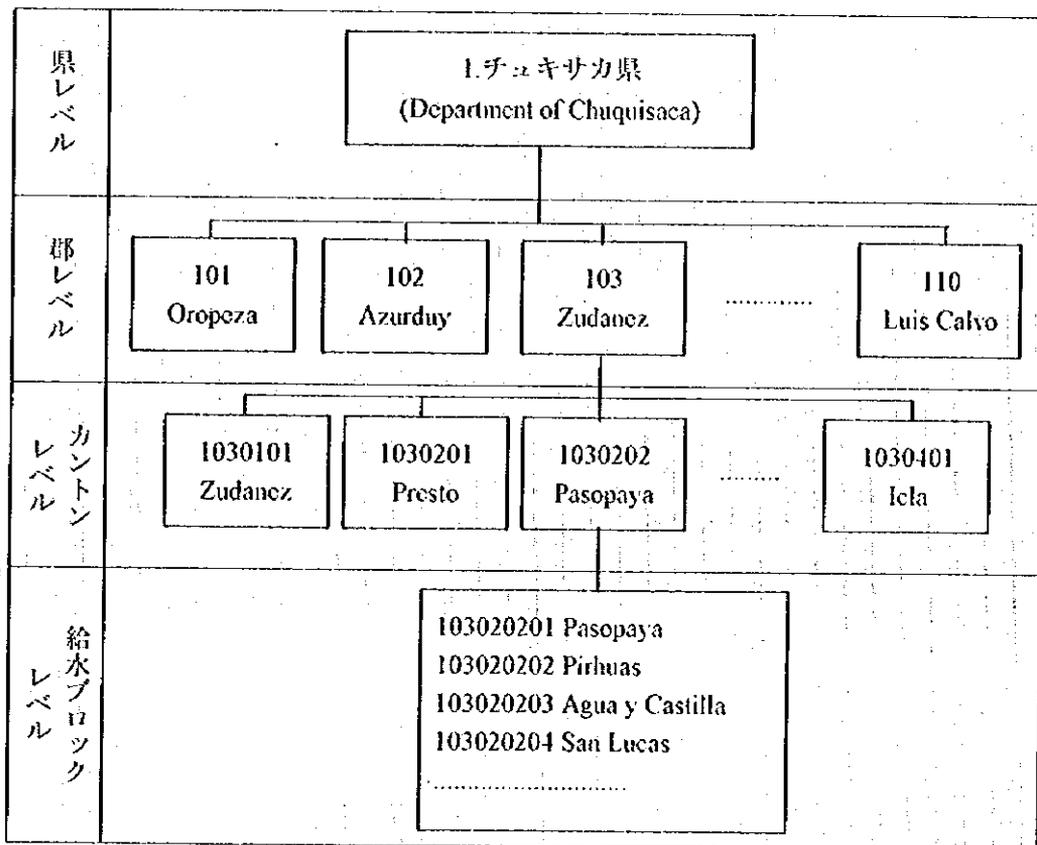
	類別	テーブル	項目数	内容
数字データ	社会経済一般データ	C*_BNAME.DB	5項目	ブロックコード、名、設立年、面積、旧名称
		C*_SOCL.DB	17項目	1976年人口、1992年人口・世帯数、近年現地調査人口・世帯数、市街化地域・農村地域の面積比率、学校数、病院数、銀行等公共施設の数等
		C*_EJPOB.DB	11項目	1995年～2010年の5年毎の将来推定人口（市街化・農村地域別）
	衛生状況データ	C*_SANI.DB	15項目	市街化・農村地域別、水洗・非水洗別、処理方法別トイレの数
	給水状況一般データ	C*_WTRS.DB	11項目	日常利用給水システムの水源地タイプ、建設主体、サービスレベル、取水方法、用途、水質、給水量、給水世帯数、等
	既存給水システムIIデータ	C*_WSB2.DB	64項目	サービスレベルIIの既存給水システムデータ（サービス範囲、水栓の数、給水人口・世帯数、給水能力、配水管の長さ、貯水池の容量・数等の技術的データ、水質、給水時間等の稼働状況データ、監理スタッフの数等の維持管理組織関連データ、料金構造、年間支出収入等の財政状況データ、等）
	既存給水システムIIIデータ	C*_WSB3.DB	116項目	サービスレベルIIIの既存給水システムデータ（同上）
井戸データ	C*_WELL.DB	15項目	井戸深さ、静水位、揚水量、透水率、直径、使用状態、柱状図、等	
計	8テーブル	254項目		
注) 「*」は県コードであり、チユキサカ県が1、シバス県が2、オルロ県が4、タリハ県が6、サンタクルス県が7である。				
図形データ	1.Canton 図	726 個	7.地質図	32 個
	2.Province 図	50 個	8.地形状況図	32 個
	3.Department 図	5 個	9.土地利用図	32 個
	4.井戸柱状図	175 個	10.行政図	32 個
	5.道路図	18 個	11.水理地質図	18 個
	6.水系図	32 個	12.自然動植物生存域図	24 個
計 12 種、1176 個				

2) 入力データ数とデータベースの構成

社会経済一般データ、衛生状況データ、給水状況データ及び既存給水システムデータは、給水ブロック毎に整理されており、計画対象地域の給水ブロック数は、5県合計で4,265である。そのうち、データベースに入力された既存給水システムデータの総数は890であり、給水状況データから何らかの既存システムが存在すると推定される1,245ブロック（現況給水率0%を超えるもの）の71.5%をカバーしている。井戸データの数は、合計808であり、そのうち柱状図のあるものが175である。

数値データは、図3-2-1に示すように、県レベル、郡レベル、カントンレベルに集計されている。

図3-2-1 データベースのレベル（チュキサカの例）

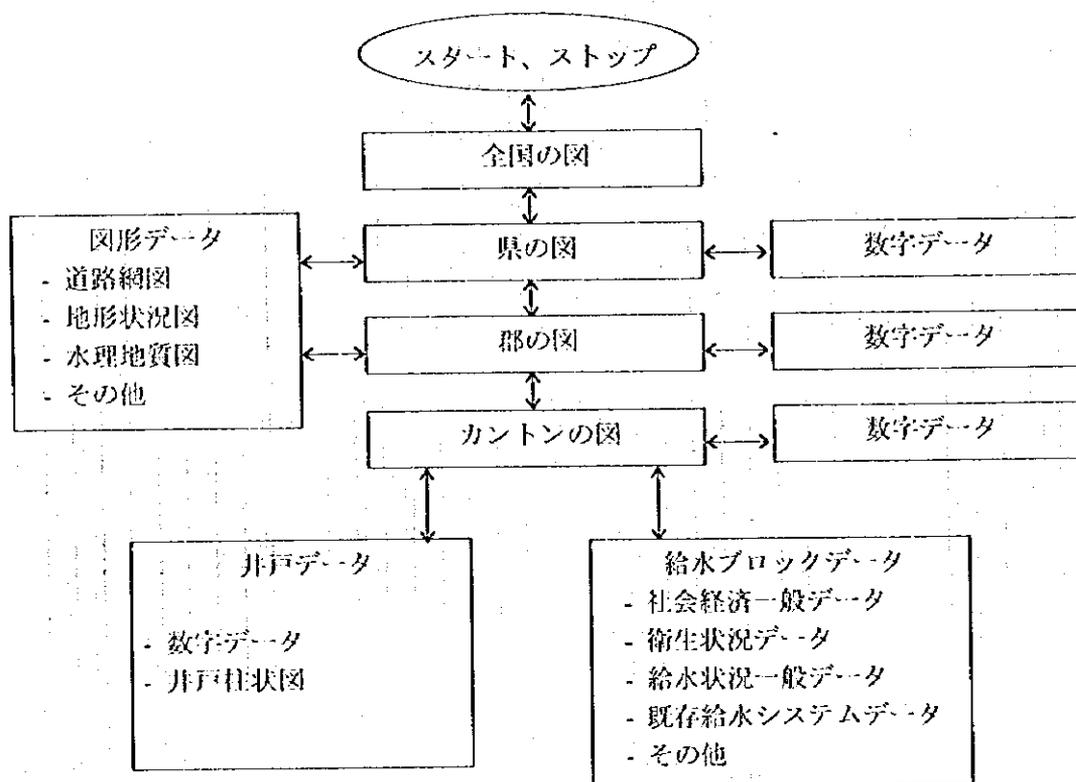


### 3) データベース・プログラムと利用方法

データベースの操作プログラム（BADAA）は、dBASE-IVのアプリケーション・ソフト Paradox for Windows を採用してスペイン語で開発したものである。コンピュータ機材は、IBMパソコン、プリンター、ハードディスク、スキャナー等からなり、現地調査終了後、DINASBA及び5県に一式ずつ供与した。

BADAAプログラムのフローチャートを簡略化して示すと図3-2-2のとおりであり、コンピュータとの対話型操作により図形データと数値データの相互アクセスが可能で、表計算ソフトにも容易に変換可能である。使用者のコンピュータ環境にあわせて様々な分析に利用でき、県別地下水開発戦略の策定に活用された。

図3-2-2 BADAAプログラムのフローチャート



## 第4章 水理地質調査

### 4. 1 自然条件

#### 4. 1. 1 地形・地質

ボリヴィア国は、地形学的に、①アンデス西部山脈、②アルチプレーノ高原地帯、③アンデス東部山脈地帯、④亜アンデス山麓地帯、⑤東部平原地帯、⑥チクターノス山地、⑦中央盾状地の7つに区分される。地域区分は図4-1-1のとおりであり、計画対象地域の地質分布を図4-1-2に示す。

##### 1) アンデス西部山脈

標高4,000~6,000メートルの山岳地帯で第四紀の火山が分布する。

##### 2) アルチプレーノ高原地帯

東西アンデス山脈に挟まれた標高3,700~4,000メートルのなだらかな高原からなる地域。第四紀のあまり固結していない堆積岩が分布する。北部にはペルーと接するチチカカ湖、その南部にはポーボ湖と広い湖が続き、南部には塩分が集積したウユニ塩湖が形成されている。この平原は閉鎖水系で、チチカカ湖から流出したデスアグアデーロ川がポーボ湖に注いでいる。

##### 3) アンデス東部山脈地帯

標高4,000~6,000メートルの山岳地帯を中心に、その支脈山地が形成されている。標高が1,800~4,000メートルの丘陵部には、険しい渓谷が発達しており、ほぼ平坦で比較的広い盆地も分布している。

山岳部は、古生代オルドビス紀の堅い岩石（火成岩）からなる急峻な山地で土壌化が進まず植生に乏しい地域である。高度が下がるにつれて、雨量が多くなって若干土壌化が進み植生が豊かになる。山間盆地は、標高3,800メートルから1,800メートルまでの地域にあり、未固結な第四紀層が分布する。コチャバンバ盆地、ポトシ周辺の盆地、タリハ周辺の盆地等は、伝統的な農業地帯となっている。

##### 4) 亜アンデス山麓地帯

アンデス山脈地帯に比較してやや穏やかな傾斜の山地で、標高が1,000~2,000メートルの地域である。地質は、古生代ギボン紀から中生代までの地層と新生代第三紀層が南北方向に並行して走って複雑な褶曲構造が形成されている。岩石の風化もやや進んでおり、河川の浸食により細長い谷底平野が発達している。

##### 5) 東部平原地帯

未固結の第四紀層に埋積されたほぼ平坦な平原で、以下のとおりに細分される。

(5-1) 低丘陵地 (バンド)

バンド県の西部の、小さな河川に侵食された低い丘陵で特徴づけられる地形。

(5-2) ベニ平原

ベニ県及びサンタクルース県北部のアマゾン川流域の広大な平原で、極めて勾配が緩やかで、雨季にはかなりの部分が水没し湿原となる。

(5-3) サンタクルース平原

ほぼ南緯16度以南の沖積平原。リオグランデ川及びイチロー川等によって形成された沖積平野で、東部平原地帯でも最も農業開発の進んだ地域である。

(5-4) チャコ平原

サンタクルース県の南部からチュキサカ、タリハ両県の東部低地にかけ、パラグアイまで広がる広大な平原。降雨量が少なく、まばらな植生があるのみである。

6) チキターノ山地

中央盾状地の前縁に連なる低い山地で古生代シルル紀、デボン紀の地質である。

7) 中央盾状地

平坦で緩い波状の台地であり、イテネス川水系に属している。ブラジルの中央高原と同じ地質である先カンブリア紀の堅い地層から構成されるが、岩石の風化は進んでいる。

ボリヴィア国の地域区分は、一般には地理的及び社会経済的条件に基づき、①アルチプレーノ地域、②丘陵部、③平野部に3区分されることが多い。丘陵部は、アンデス東部山脈地帯と亜アンデス山麓地帯を含め、平野部はチキターノ山地と中央盾状地を含んで総称されている。





#### 4. 1. 2 水系

ボリヴィア国の水系は、大きくアルチプラーノ水系（面積 145,081 km<sup>2</sup>）、アマゾン川水系（面積 724,000 km<sup>2</sup>）、ラプラタ水系（面積 229,500 km<sup>2</sup>）に区分され、それぞれ国土面積の 13.2%、65.9%、20.9% を占める。（図4-1-3）

アルチプラーノ水系は、東西をアンデス山脈に挟まれた総面積19万平方キロメートルの閉鎖水域で、ペルー南東部とラパス、オルロ、ポトシの各県よりなる。北から南に緩やかに傾斜しており、ウユニ塩湖の周辺の標高が最も低くなっている。

アマゾン川水系の代表的な河川としては、マードレ・デ・ディオス川、ベニ川、マモレー川、イテネズ川等があり、マモレー川はリオグランデ川、イチロー川等に分かれ、イテネズ川はバラグア川、サンミゲル川等に分かれている。

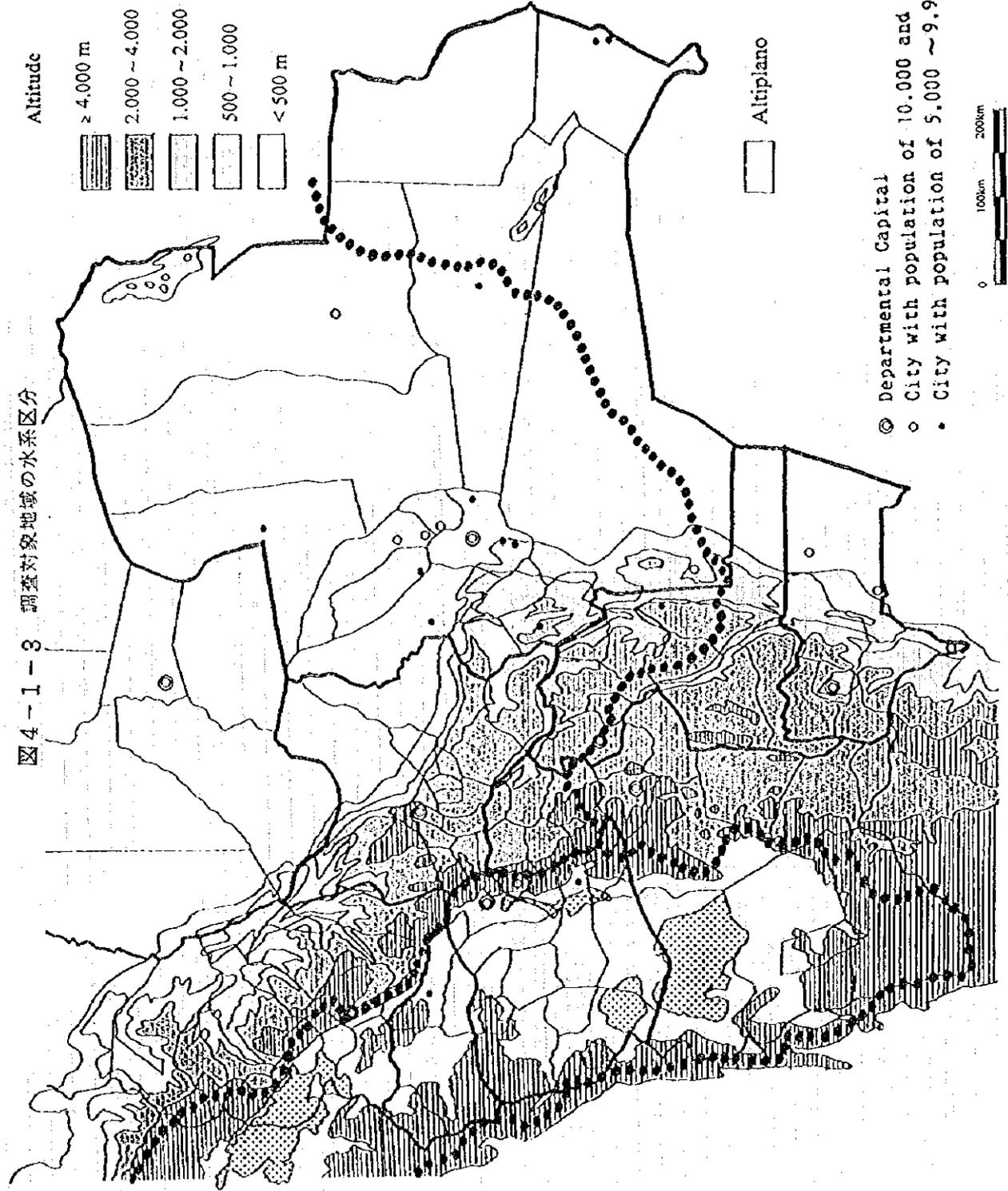
ラプラタ川水系には、ピルコマーヤ川、ベルメホ川、バラグアイ川がある。

計画対象地域における各県ごとの水系区分は表4-1-1に示すとおりであり、ラパス南部とオルロはアルチプラーノ、タリハはラプラタ川水系に位置している。チュキサカ及びサンタクルース南部に、ラプラタ川水系とアマゾン川水系の分水界が走っている。

表4-1-1 計画対象地域の水系面積区分 (単位 km<sup>2</sup>)

水系区分		チュキサカ	ラパス南部	オルロ	タリハ	サンタクルース	計
アルチ プラーノ	Titicaca 湖		583				583
	Poopo 湖		18,422	22,973			41,395
	Coipasa 塩湖			23,247			23,247
	Uyuni 塩湖			3,125			3,125
	計		19,005	49,345			68,350
アマゾン	Madre de Rios 川						
	Beni 川						
	Marore 川	22,634		2,270		97,567	122,471
	Itenez 川					151,757	151,757
	計	22,634		2,270		249,324	274,228
ラプラタ	Bernejo 川				11,623		11,623
	Pilcomaya 川	28,893		1,973	25,785	2,100	58,751
	Paraguay 川					119,197	119,197
	計	28,893		1,973	37,408	121,297	189,571
合計		51,527	19,005	53,588	37,408	370,621	532,149

図 4-1-3 調査対象地域の水系区分



#### 4. 1. 3 気 象

ボリヴィアは緯度からみれば熱帯、亜熱帯に属する地帯であるが、標高 4,000メートル近い高原地帯、1,000～3,000メートルの丘陵地帯、200～500メートルの東部平原と垂直的、立体的地形変化によって気候も複雑に変化する。季節的に、乾季、雨季の相違がはっきりしていて、4月から10月までが乾季、12月から翌年3月までが雨季となっている。計画対象地域の気候の特徴は、次のとおりである。

##### 1) アルチプラーノ

年平均気温10度、年間降雨量 120～350ミリメートル程度で、冷涼な乾燥気候である。冬季は雨がほとんどなく、氷結する時がある。一般にアルチプラーノ西部の方が雨が少ない。

##### 2) 丘陵部

スクレ、タリハ等に代表される地域で、降雨量が少なく、特に乾季（5月～8月）にほとんど雨のない地域が多い。年平均気温は20～30℃、降雨量は500～700ミリメートル程度である。

##### 3) 平野部

サンタクルス市のある南緯18～19度以北の湿潤な地域と、それ以南のチャコ地方と呼ばれる乾燥地帯に二分され、前者は、年平均気温22℃、年間降雨量は1,000～1,500ミリメートル程度であるが、5月～8月の月間雨量が50ミリメートル以下の地域もあり、年によって旱魃被害が生ずることもある。後者は、年平均気温22～26℃、年間降雨量500～1,100ミリメートル程度の高湿乾燥気候で、6月から9月にかけての降雨が少ない。

図4-1-4に計画対象地域の降雨量分布を示し、図4-1-5に主な観測地点での月間降雨量の変動を示す。

年間降雨量と蒸発散量の分布図を基に各県の水収支を算定すると、表4-1-2に示すとおりである。県全体の年間降水量は、チュキサカが400億トン、ラパス南部が67億トン、オルロが110億トン、タリハが300億トン、サンタクルスが4,700億トンである。ラパス南部、オルロでは、蒸発散量が降水量より多く、アルチプラーノの周辺上流域からの地下水の流入があると推定される。

表4-1-2 計画対象地域における水収支 (単位 mm/年)

	チュキサカ	ラパス南部	オルロ	タリハ	サンタクルス
降水量	780	352	212	800	1,284
蒸発散量	620	366	296	593	997
浸透・流出量	160	▲ 14	▲ 84	207	287

(注) 各水系の流域面積と降水量・蒸発散量分布図を基に、各県での平均値を算定。

図 4-1-4 調査対象地域の年降雨量分布

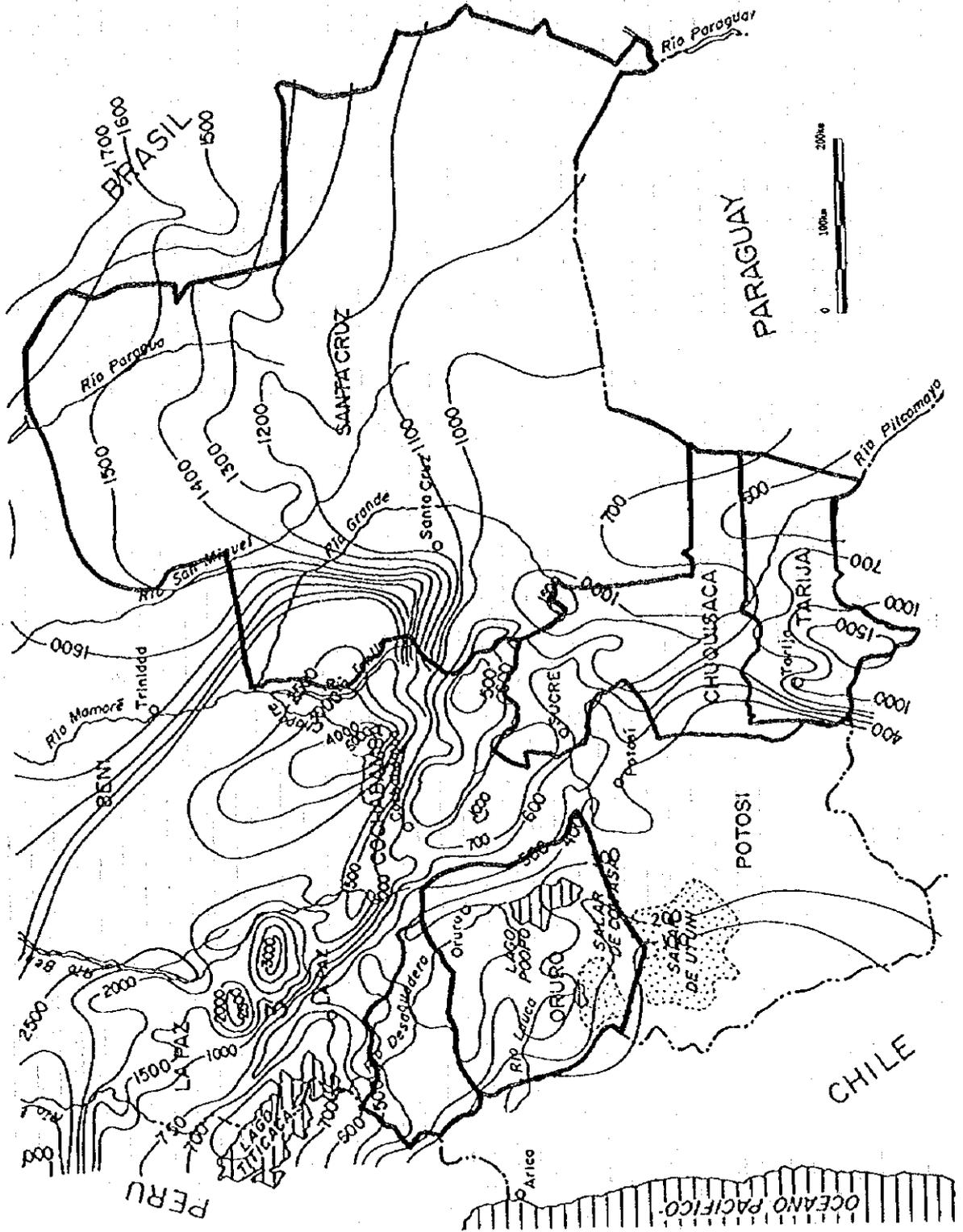
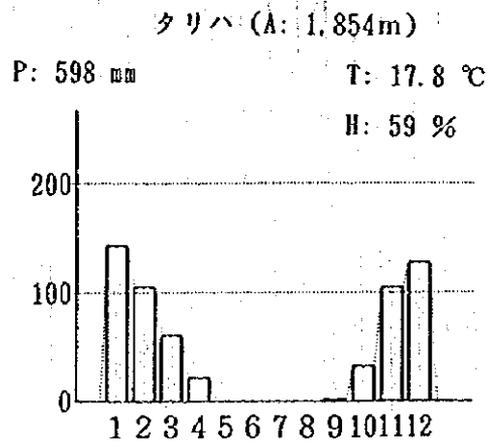
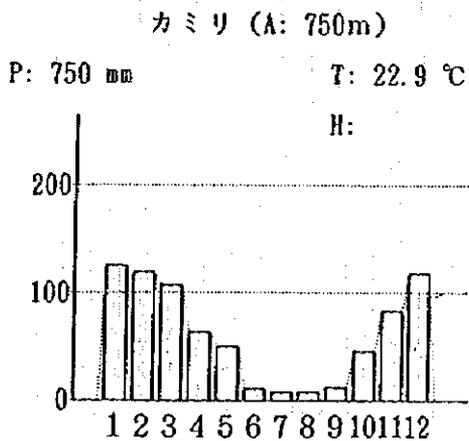
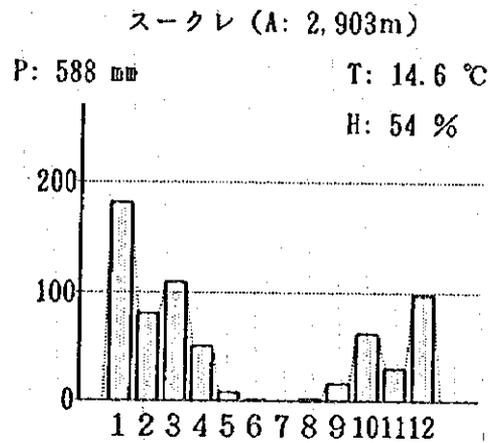
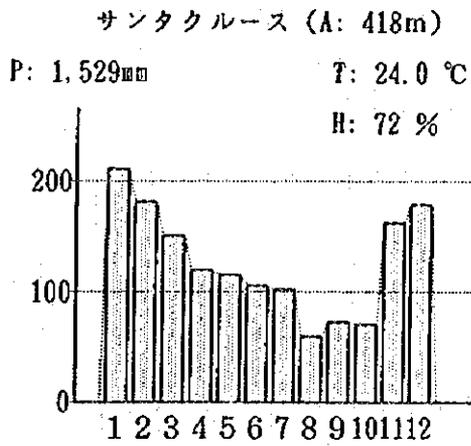
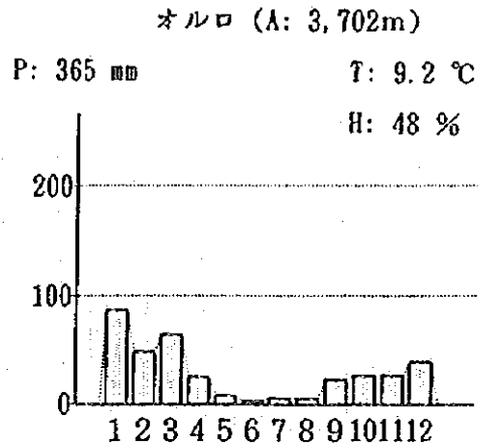
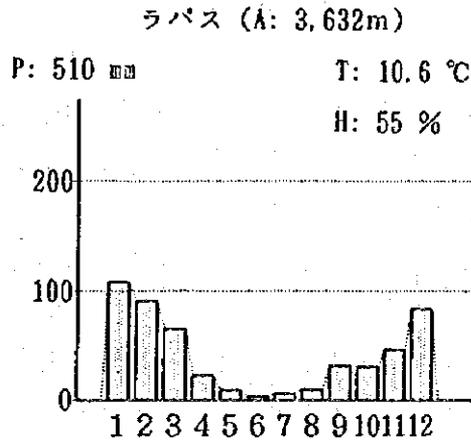


図4-1-5 降雨量の月別変動



(注) A: 標高 P: 年間降雨量 T: 年平均温度 H: 年平均湿度

## 4. 2 現地調査

### 4. 2. 1 物理探査

#### 1) 調査方法

調査対象地域内の地質構造及び地下水の賦存状況を調査するとともに、試掘調査地点の選定を目的として、物理探査を実施した。物理探査は、大地に電極を通して地層の見掛けの比抵抗値を測定する方法で、電気比抵抗法及び電磁探査法により調査を行った。

電気比抵抗法は、垂直探査（VES）法を採用しシュランベルジャー電極配置を用い、電磁探査法は、過渡現象を利用したTEM法を採用した。

調査地点は図4-2-1に示すとおりであり、垂直探査法は、アルチプラーノ、渓谷部、平野部及びチャコ地方の一部の合計204測点で行い、TEM法は、帯水層深度の深いチャコ地方の101測点で実施した。測定深度は、アルチプラーノでは100～200メートル、渓谷部と平野部では100～250メートル、チャコ地方では最深500メートルまで調査した。

#### 2) 調査結果

調査の結果、計画対象地域の地層は全体的に比抵抗値が低く、有望な帯水層を構成する砂、砂礫、砂岩の地層は30～80 $\Omega\cdot m$ の比抵抗値を示すことが明らかになった。推定される帯水層の深度は、次のとおりである。

アルチプラーノの帯水層深度は、湖成堆積層の厚い地域では一般に深く、これに対して、周辺の山裾や基盤岩の露出している近辺では比較的浅くなっている。また、アルチプラーノがかって湖であった時代に中島を形成していた地域では、島から限られた範囲内で10メートル前後の深さで帯水層が期待されるが、その帯水層の下位には高塩濃度の地下水を有する地層の存在が推定される。この地域からさらに遠ざかるにしたがい、帯水層の厚さは、堆積作用の機構の関係で急激に減少するため、そのぶん塩水の上面深度が上昇している。

丘陵部は、チュキサカ、タリハ、サンタクルースの3県にわたって南北方向に広がっているが、各県の帯水層の条件は、それぞれの地域の地形、地質の相違により異なる。チュキサカでは、一般に帯水層の深度は、西で浅く東に向かい深くなる傾向がある。サンタクルース西部に位置する第四紀の広い堆積盆では、帯水層の深度が中心部ほど深く、その周辺部に向かって次第に浅くなる。タリハでも、チュキサカ同様に西部で浅く東部で深くなっている。エントレリオスの北東部では、地層中に高い塩濃度の地下水が賦存すると思われ、飲料に適する地下水を賦存する帯水層は200メートルまでの深度では確認されなかった。

平野部では、渓谷部と平野部の境界部地域で、帯水層の深度が比較的深く、そこから東方の平坦部に向かって次第に浅くなる傾向が認められた。

チャコ地方の帯水層の深度は、他の地域よりかなり深く、チュキサカのルイスカルボ郡では400メートル以上まで帯水層のない地域がある。



#### 4. 2. 2 試掘調査 (テストボーリング)

##### 1) 調査概要

調査対象地域における地質構造及び地下水特性を確認するため、図4-2-1に示した9カ所で試掘調査を実施した。調査地点及び掘削工事の概要は表4-2-1のとおりであり、現地掘削工者に委託して調査を実施した。パイロット孔の掘削後、スクリーンの挿入位置を決定するため電気検層を行い、続いて本孔を掘削してからスクリーン及びケーシングを挿入し、ケーシングとボーリング孔の孔壁の間に砂利を充填した。その後、ボーリング孔の洗浄、段階揚水試験、連続揚水試験、回復試験を行い水理定数を算定した。

なお、JC-9は当初、カンボグラndeを予定していたが、玉石が多く掘削困難であったため地点をナランホスに変更した。また、JC-8及び9は、当初150メートル掘削予定していたが、JC-8は地下水が自噴し、JC-9はビット転落事故のため、それぞれ127メートルで中止した。

表4-2-1 試掘調査の概要

地点番号	県	地区名	掘削期間	掘削業者	リグ型式
JC-1	ラパス南部	パタカマーヤ	08.11.95-23.11.95	GEOBOL	TH-60 USA
JC-2	オルロ	コルケ	21.09.95-03.11.95	GEOBOL	R-36 USA
JC-3	オルロ	ペーニャス	25.11.95-20.12.95	GEOBOL	TH-60 USA
JC-4	ワタカルス	サンカルロス	23.08.95-01.10.95	HIDROSUR	LEE MOORE USA85
JC-5	ワタカルス	キトゥキーニャ	18.10.95-17.12.95	HIDROSUR	LEE MOORE USA85
JC-6	チュキサカ	カンボレオン	24.08.95-26.10.95	HIDROSUR	WILSON USA79
JC-7	チュキサカ	シンボラール	03.11.95-24.11.95	HIDROSUR	WILSON USA79
JC-8	タリハ	ラチョサ	15.09.95-12.10.95	HIDROSUR	FAILING USA75
JC-9	タリハ	ナランホス	12.12.95-04.02.96	HIDROSUR	FAILING USA75

##### 2) 調査の結果

調査結果は表4-2-2に示すとおりであり、JC-1は毎秒4.0リットル、JC-2は2.0リットル、JC-3は2.0リットル、JC-4は10リットル、JC-5は0.7リットル、JC-6は2.25リットル、JC-8は7.55リットルの揚水量が得られたが、JC-7及びJC-9は水が得られなかった。JC-5は、地質が泥岩で、掘削深度までには良好な帯水層は見いだせなかった。揚水試験の結果から算定した水理定数は、表4-2-3のとおりである。

表4-2-2 試掘調査の結果

No	集落名	掘削 口径 (イ)	掘削深 (GL-m)	ケーソク 口径 (イ)	ケーソク 延長 (m)	スクリン 設置位置 (GL-m)	帯水層の地質	静水位 (GL-m)	揚水量 (l/s)	動水位 (GL-m)	水位 降下 (m)
JC-1	Patacamaya	12-1/4	100	6	62	23-32 36-42 44-47 50-56	clay, silt	13.4	4.0	27.2	13.8
JC-2	Corque	12-1/4	100	6	87	42-45 58-67 78-81	clay, silt	6.5	2.0	26.1	19.6
JC-3	Penas	12-1/4	100	6	66	29-50 54-60	gravel, sand	7.2	2.0	29.0	21.8
JC-4	San Carlos	17-1/2	260	8	254	146-152 164-170 191-197 213-219 242-248	lutite	57.5	10.0	93.0	35.5
JC-5	Quitiquina	17-1/2	200	8	197	117-123 132-135 142-145 149-155 162-165 173-182	sand, clay	32.5	0.71	122.5	90.0
JC-6	Campo León	17-1/2	411	8	405	306-312 319-328 338-344 352-361 366-369 383-386 393-399	sand, clay	190.0	2.25	282.9	92.9
JC-7	Sinbolar	12-1/4	258	8	171	99-102 112-121 125-128 138-141 156-159	sand, clay	139.0	-	-	-
JC-8	La Choza	12-1/4	127	6	127	46-49 51-54 75-84 91-100 113-119	gravel	11 頃 (16.0)	7.55	-	-
JC-9	Naranjos	12-1/4	127	8	127	91-121	clay, silt, sand	-	-	-	-

表4-2-3 水理定数

地点番号	安全揚水量 (ℓ/秒)	水位降下 (m)	比湧出量 (m <sup>2</sup> /日)	透水量係数 (m <sup>2</sup> /秒)	透水係数 (m/秒)
J C - 1	4.0	13.8	25.0	$4.63 \times 10^{-4}$	$1.93 \times 10^{-5}$
J C - 2	2.0	19.6	8.82	$5.21 \times 10^{-4}$	$4.34 \times 10^{-5}$
J C - 3	2.0	21.8	7.93	$6.94 \times 10^{-5}$	$2.57 \times 10^{-6}$
J C - 4	10.0	35.5	24.3	$6.13 \times 10^{-4}$	$2.08 \times 10^{-5}$
J C - 5	0.71	90.0	0.67	$2.31 \times 10^{-6}$	$7.72 \times 10^{-8}$
J C - 6	2.25	92.9	2.09	$1.04 \times 10^{-4}$	$2.66 \times 10^{-6}$
J C - 8	7.55	-	-	-	-

なお、機材の現地到着から完了までの調査期間は16~65日間を要し、1カ月当たりの掘進率は70~200メートル(全体平均123メートル)であった。

試掘調査で明らかとなった地質、帯水層深度は、物理探査の結果と整合性が高く、物理探査の有効性が示されたといえる。

### 3) 地下水水質

試掘調査地点の地下水の水質試験結果を表4-2-4に示す。J C - 5の水質は、濁度、溶解物質濃度が高く、飲料水として不適であった。J C - 1、J C - 2の鉄分濃度がやや高くなっているが、その他の地点、項目はボリヴィア国飲料水水質基準を満たしている。濁り、有機性汚濁が少なく、溶解物質の濃度も浅井戸の水質とくらべて特に高くはなかった。J C - 5を除くと、導電率が380~830  $\mu\Omega/cm$ 、全硬度が139~237mg/ℓの範囲にある。

表4-2-4 試掘調査地点の地下水水質

項目	J C-1 バタカマーヤ	J C-2 コルケ	J C-3 ペーニャス	J C-4 サンカルロス	J C-5 キトッキーニャ	J C-6 カンボレオン	J C-8 ラチャサ
水温 (°C)	16.00	-	13.00	27.7	24.9	30.3	20.5
pH	6.75	8.10	8.35	6.96	7.62	7.44	8.0
色度	-	-	-	3.0	98.0	12.0	5.0
濁度	CLARA	CRISTALINA	CLARA	1.0	11.0	5.0	0.40
全硬度 (mg/ℓ-CaCO <sub>3</sub> )	138.4	236.17	119.18	363	217	137	271.4
導電率 (μΩ/cm)	386.2	831.81	415.9	733	5,350	719	500
溶解性物質 (mg/ℓ)	-	-	-	513	3,745	503	-
アルカリ度 (mg/ℓ-CaCO <sub>3</sub> )	113.30	177.54	121.47	425	722	160	376
大腸菌群数 (MNP/100mℓ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ca (mg/ℓ)	32.4	63.44	30.75	105.0	43.4	46.0	-
Mg (mg/ℓ)	13.93	18.85	10.26	24.5	26.4	5.3	-
K+Na (mg/ℓ)	54.2	60.9	111.7	-	-	-	-
Fe (mg/ℓ)	3.19	2.30	0.32	0.04	2.85	0.08	ND
Mn (mg/ℓ)	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-
Cl (mg/ℓ)	17.3	63.45	32.69	8.5	50.50	78.0	31.1
SO <sub>4</sub> (mg/ℓ)	51.08	63.27	44.82	13.9	1,524.2	124.0	175.0
HCO <sub>3</sub> (mg/ℓ)	113.30	177.54	102.79	88.3	34.2	11.5	412.0
NO <sub>3</sub> (mg/ℓ)	-	-	-	4.5	0.0	22.3	-
NO <sub>2</sub> (mg/ℓ)	ND	-	ND	0.01	0.00	0.17	ND

#### 4. 3 地下水開発の可能性

##### 4. 3. 1 過去の地下水開発

###### 1) 井戸の分布状況

1992年センサスによると、調査対象地域において給水サービスを受けていない全世帯数のうち46.9%の住民が井戸水に依存している。特に、ラパス南部、オルロ、サンタクルース北部地域では井戸水の利用人口が多く、その井戸の大部分は手掘りの浅井戸であると推定され井戸台帳は整備されていない。

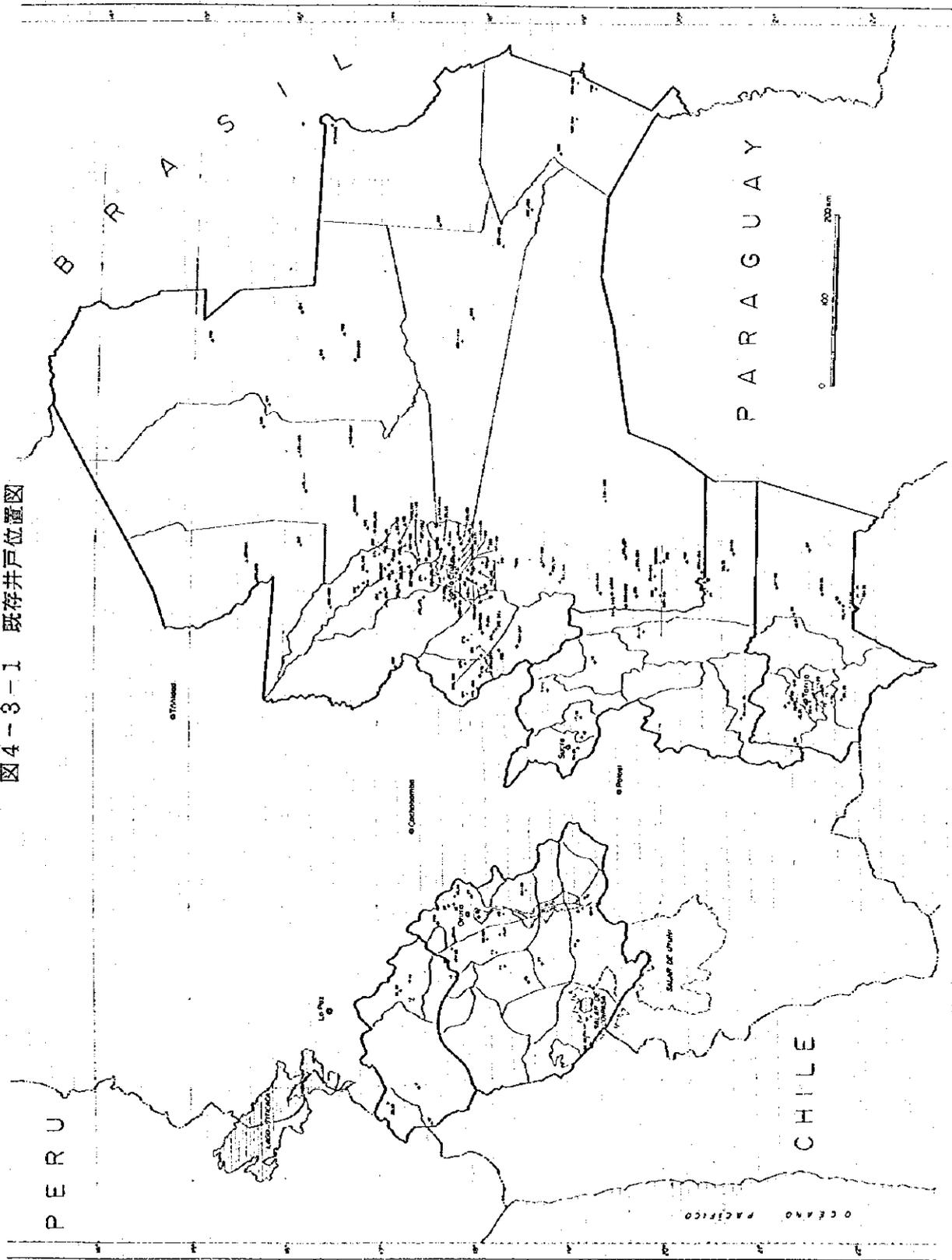
水供給データベースの井戸データを基に、井戸数を集計すると表4-3-1のとおりであり、井戸の分布図を図4-3-1に示す。このデータは、比較的新しく開発された井戸を対象としたもので人口の多い地域に片寄っているが、次のような傾向が認められる。

- ① 地下水開発の盛んな地域は、サンタクルース市周辺、タリハ市周辺、アンデス山麓地帯と東部平原地帯の境界をなして南北に帯状に延びるサンタクルース西部地域、アルチプレーノ東部地域等である。
- ② 新しい井戸ほど、井戸深度が深くなってきている。
- ③ 井戸深度は、アルチプレーノでは50~100メートル程度、サンタクルース西部地域では100~300メートル程度のものが多い。チャコ地方では400メートル以上のものもある。
- ④ 揚水量は、アルチプレーノでは毎秒1.5~10リットルとばらつきが大きく、サンタクルース西部地域では毎秒4~10リットル程度、チャコ地方では毎秒1.5~3リットル程度である。
- ⑤ 静水位は、アルチプレーノでは20~25メートル、サンタクルース西部地域では20~50メートル程度であり、チャコ地方では100~200メートル又はそれより深いものもある。

表4-3-1 深度別の井戸数（水供給データベースによる）

深 度(m)	0~10	11~29	30~49	50~99	100~199	≥200	計
チュキサカ	0	7	4	22	7	11	59
ラパス南部	17	3	6	3	0	0	29
オルロ	16	12	19	29	3	0	79
タリハ	22	7	2	24	37	0	92
サンタクルース	2	33	81	277	153	11	557
計	57	62	112	355	200	22	808

图 4-3-1 既存井戸位置图



水供給データベースの井戸データに基づき、井戸の掘削深度、井戸の生産性（揚水量）、静水位の分布を、図4-3-2～図4-3-4に示す。

## 2) 掘削機材の所有状況及び掘削業者の状況

調査対象地域のなかでは、チュキサカ、オルロの2県がそれぞれ井戸掘削機を所有しているが、1974、75年型の老朽化したもので能力が低く、年間1～2カ所程度しか掘削工事を実施していない。その他の3県は、掘削機がなく、地下水開発を民間業者に委託して行なわざるを得ない状況である。民間の掘削工事業者は、ラバス、サンタクルース県に多数存在しているが、ほとんどが中小業者であり、老朽化した浅井戸用の掘削機しか所有しておらず、管理能力が低い。深井戸の掘削能力がある業者は3～5社のみである。

そのほか、コチャバンバの上下水道公社が比較的新しい日本製の掘削機を所有しており、石油開発公社（Y P F B）が大規模の石油探査機を所有している。

鋼製のケーシングや汎用の揚水ポンプ等は、国内で入手可能であるが、ステンレス製のスクリーン、水中モーターポンプ、特殊なスペアパーツ等は輸入しなければならない。

ボリヴィアの井戸掘削技術は、掘削工事の経験者も多くかなりのレベルに達している。しかし、水理地質的な知識をもった技術者は少なく、地下水探査手法や最新掘削技術に関する情報が不足している。

図4-3-2 井戸の掘削深度分布

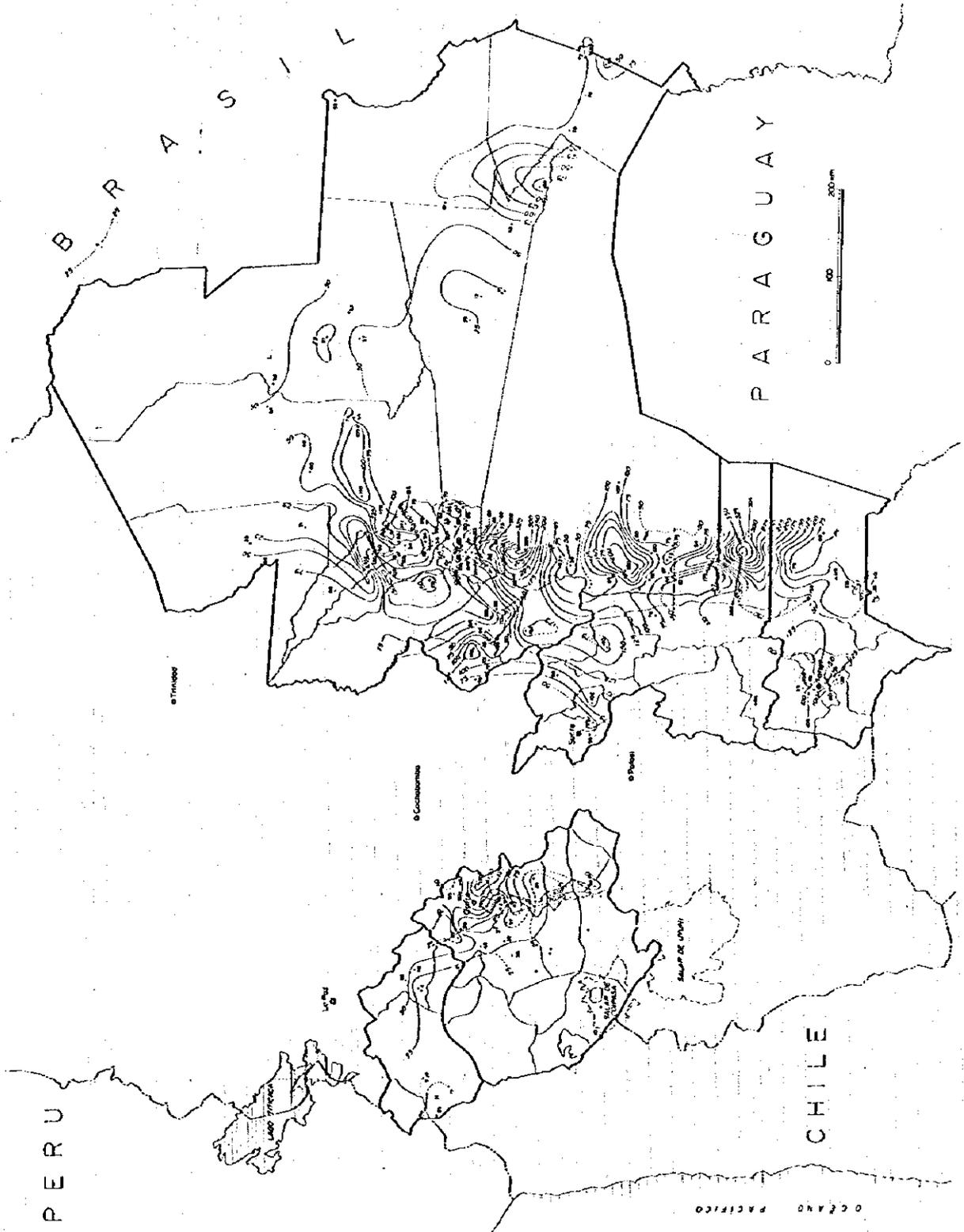


図4-3-3 井戸の揚水盛分布

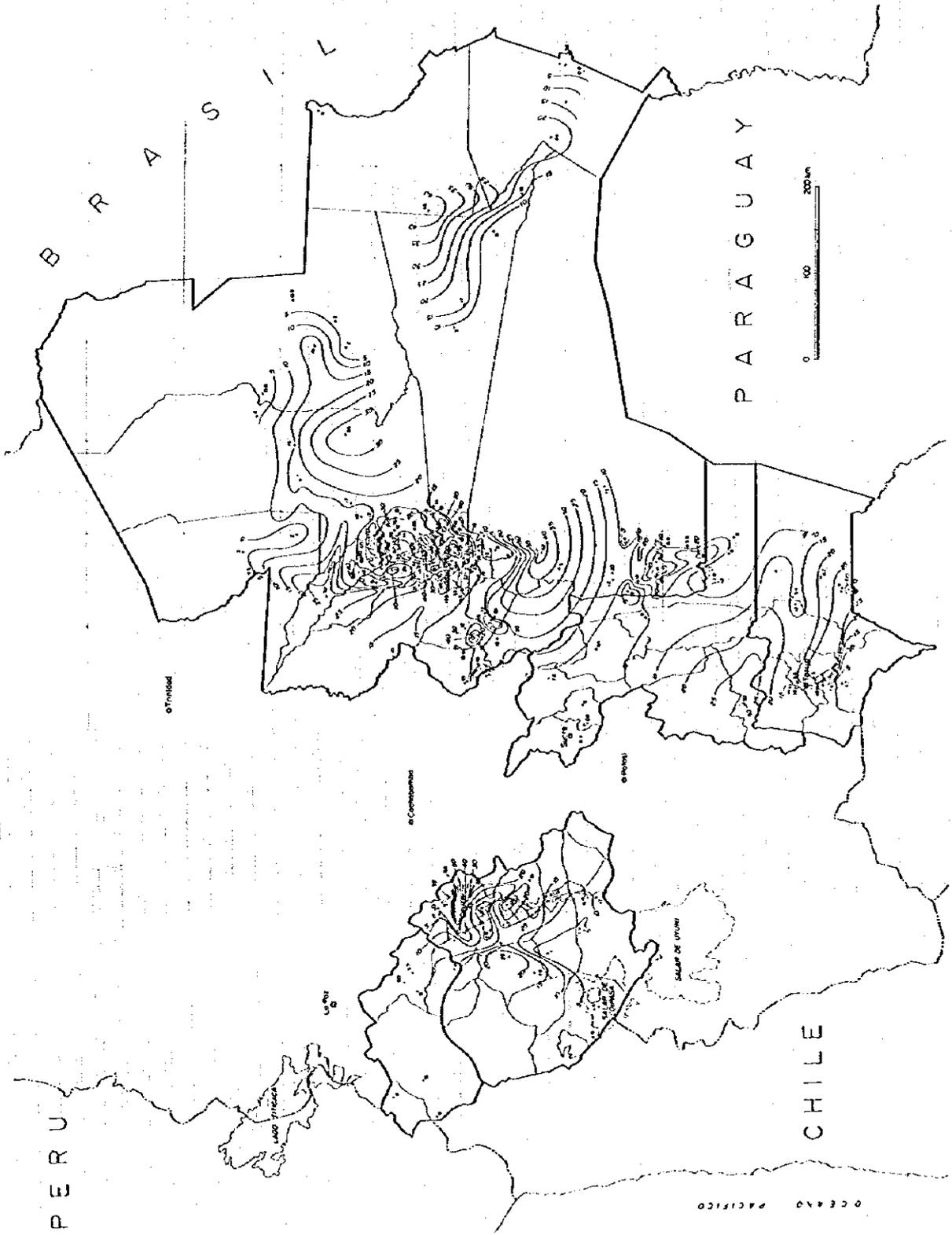
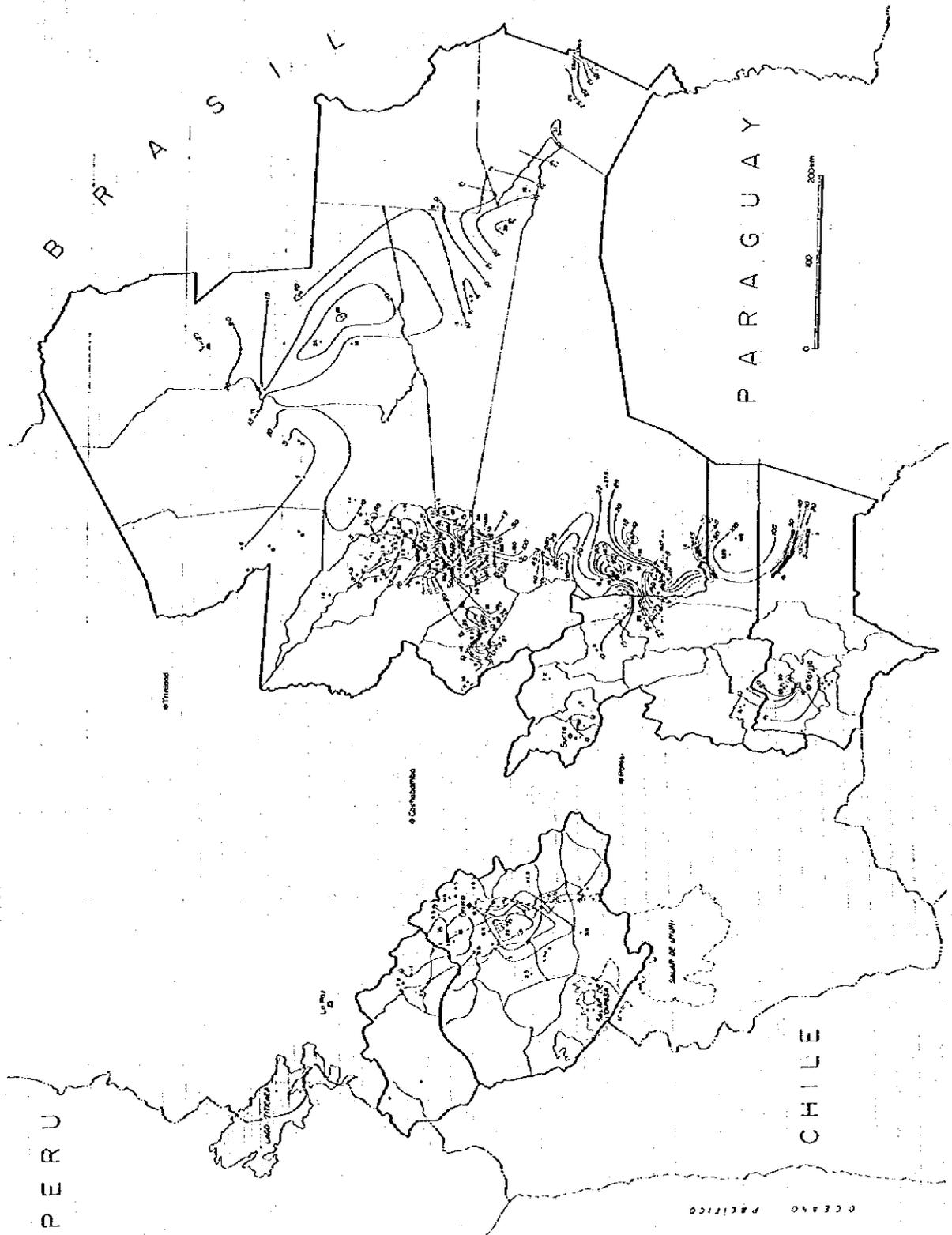


図4-3-4 井戸の静水位分布



#### 4. 3. 2 地下水開発ポテンシャルの評価

##### 1) 水理地質的特徴

計画対象地域における地下水開発ポテンシャルの評価のため、図4-3-5に示す水理地質図及び図4-3-6に示す水理地質断面図を作成した。この地図は、地形・地質図を基に、井戸分布、物理探査、試掘調査等の結果を反映したものである。

大局的な地下水開発ポテンシャルに関しては、計画対象地域は次の5つの水理地質区に分けて考えることができる。

##### (1) アルチプラーノ閉鎖水盆（ラパス南部・オルロ）

第四紀の堆積層が堆積した地下水盆が形成されており、透水性は比較的よい。降雨量は少ないが、水域全体として地下水賦存量は多い。計画対象地域はアルチプラーノの中で標高が低く、山間部又は北部地域からの地下水の流入があり、一般的には深いほど地下水量は多いと考えられる。山麓部では湧水や比較的浅い深度で良好な地下水が得られるが、中央部では、深くないと地下水が得にくい。ポーボ湖南部、ウユニ塩湖、コイサバ塩湖、トレド市周辺等では井戸水が塩水化しており、深層の空洞水又は裂か水を開発する必要がある。その他の地域でも浅層地下水は塩水化している恐れがあるが、深層地下水は比較的塩分濃度が低いと思われる。過去の地下水開発は比較的浅い部分の地下水を対象としており、深層地下水の開発ポテンシャルは高いと思われる。

##### (2) 丘陵地帯（チュキサカ・タリハ西部、サンタクルース西部）

丘陵地帯は、古生代の地層が基盤を形成しているが侵食が発達しており、小規模な谷部が多く形成されている。降雨量は、高度 2,000メートル以上のアンデス山脈地帯で500~700ミリメートル、高度 2,000メートル以下のアンデス山麓地帯で600~1,000ミリメートルである。従来、河川水や湧水の利用が多く、地下水開発はあまり行われていなかったが、溪谷部には新しい地層が堆積しており地下水流がかなり見込まれるため、地下水開発のポテンシャルは高い。しかし、交通アクセスの難しい集落もあり、地質が固いため井戸掘削の困難な地域もある。

##### (3) アマゾン川水盆（サンタクルース中央部）

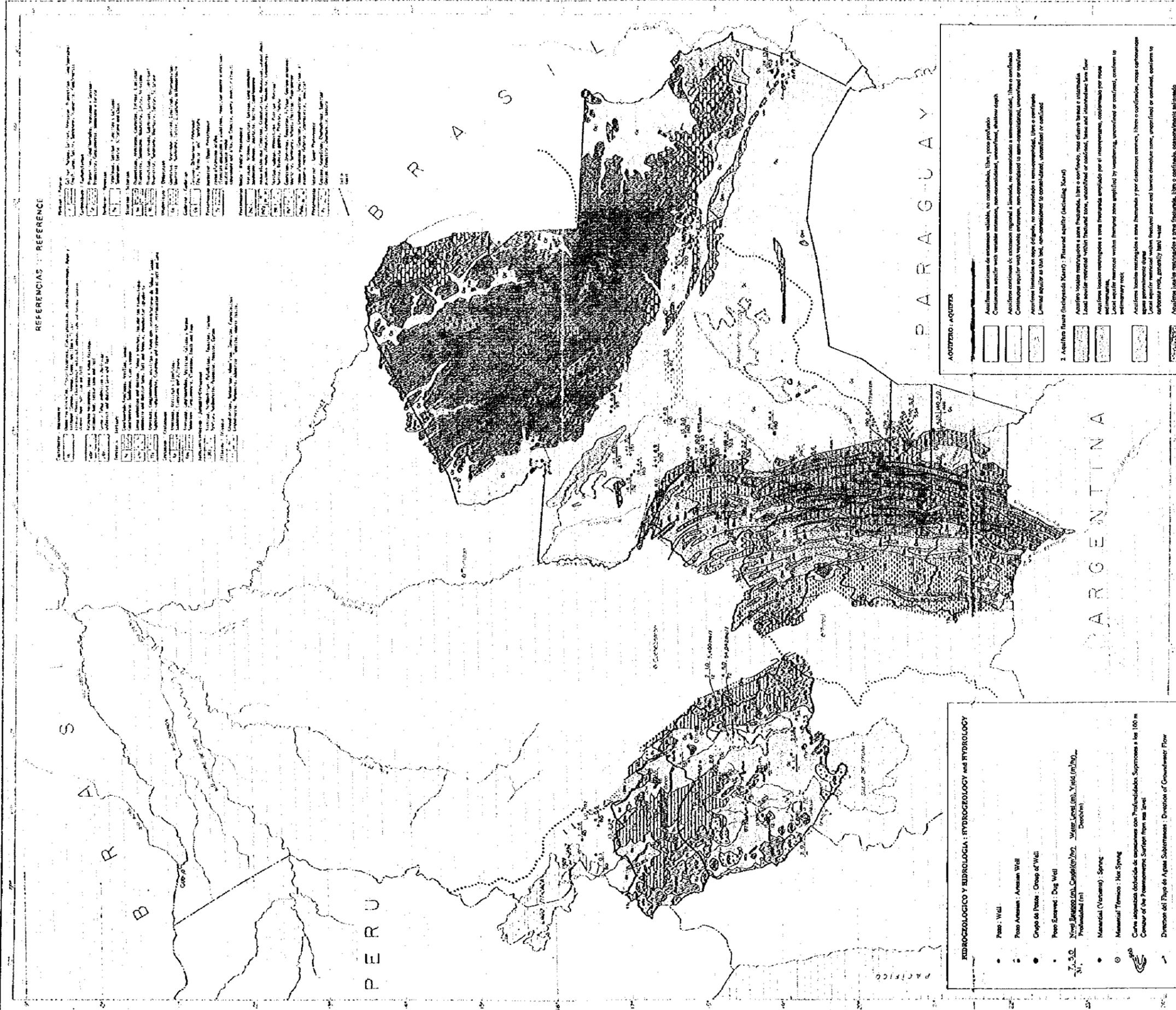
北部の湿潤地帯は、降雨量が1,000~2,000ミリメートルと多く、比較的浅いところで地下水が得られる。南部の乾燥地帯は、降雨量が500~1,000ミリメートルと少なく帯水層深度は深くなる。水系面積が広く地下水開発ポテンシャルは高いが、北部地域では洪水に伴う地下水汚染も考えられる。

##### (4) 中央盾状地（サンタクルース東北部）

年間降雨量が1,200~1,600ミリメートルあり、イテーネス川水系に属する。先カンブリア紀の地層が基盤を形成しているが風化が進んでいる。地下水流はかなり多く、地下水開発ポテンシャルは高いと思われる。



图 4-3-5 水理地质图



REFERENCIAS : REFERENCE

<p><b>Mapas:</b>                  1. Mapa Geológico del Perú, 1:500,000, Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  2. Mapa Geológico del Perú, 1:250,000, Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  3. Mapa Geológico del Perú, 1:100,000, Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  4. Mapa Geológico del Perú, 1:50,000, Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  5. Mapa Geológico del Perú, 1:25,000, Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.</p>	<p><b>Publicaciones:</b>                  1. "Geología del Perú", Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  2. "Geología del Perú", Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  3. "Geología del Perú", Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  4. "Geología del Perú", Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.                  5. "Geología del Perú", Dirección General de Geología y Minería, Lima, 1960.</p>
---	--

**HYDROGEOLOGICAL AND HYDROLOGY**

- Pozo: Well
- Pozo Artesiano: Artesian Well
- Grupo de Pozos: Group of Wells
- Pozo Escavado: Dug Well
- Nivel Estático (m), Caudal (l/s), Yield (m<sup>3</sup>/hr), Profundidad (m): Static Water Level (m), Discharge (l/s), Yield (m<sup>3</sup>/hr), Depth (m)
- Manantial (Varanus): Spring
- Manantial Térmico: Hot Spring
- Curva isohalica de las aguas subterráneas con profundidades superiores a los 100 m: Isohalic Curve of the Potable Water from the Level
- Dirección del Flujo de Agua Subterránea: Direction of Groundwater Flow
- Río/Corriente con Conductividad Eléctrica: River/Stream with Electrical Conductivity (micro-mhos)
- Laguna/Lago con Agua Salada: Lagoo/Lake with Salt Water
- Laguna/Lago Perdiendo: Perdiendo Lagoo/Lake
- Salin: Salt
- Área con Agua Subterránea recargada: Área Subterránea Dulce: Área con Agua Subterránea recargada: Fresh Groundwater
- Línea Divisoria: Divisor(Watershed)

**ACUÍFERO : AQUIFER**

- Acuífero confinado de extensión variable, no consolidado, libre, poco profundo: Confinable aquifer with variable extension, non-consolidated, unconfined, shallow depth
- Acuífero confinado de extensión regional o local, no consolidado o semi-consolidado, libre o confinado: Confinable aquifer with regional or local extension, non-consolidated or semi-consolidated, unconfined or confined
- Acuífero limitado en uno o dos lados, no consolidado o semi-consolidado, libre o confinado: Limited aquifer on one or two sides, non-consolidated or semi-consolidated, unconfined or confined

**2. Acuífero Libre (Incluyendo Marés): Fractured aquifer (including Marés)**

- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow
- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow
- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow
- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow
- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow

**3. Otros (Aquíferos Especiales o Partes de Partes):**

- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow
- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow
- Acuífero local restringido a zona fracturada, libre o confinado, masa de agua base e intermedia: Local aquifer restricted within fractured zone, unconfined or confined, base and intermediate zone flow

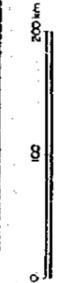
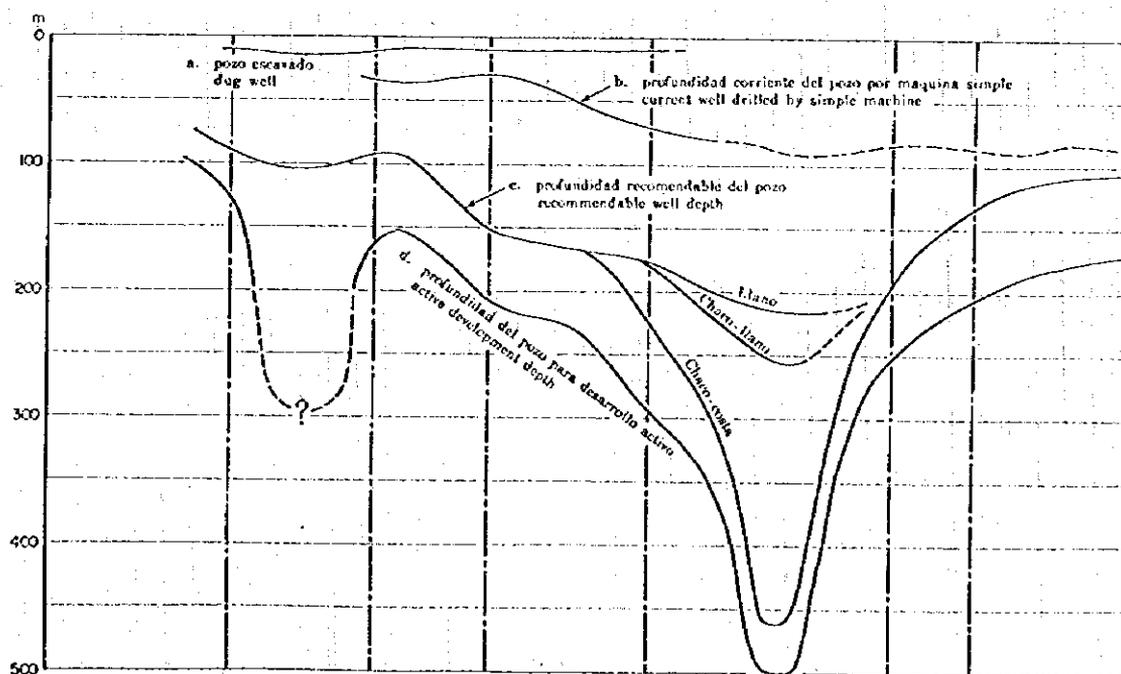
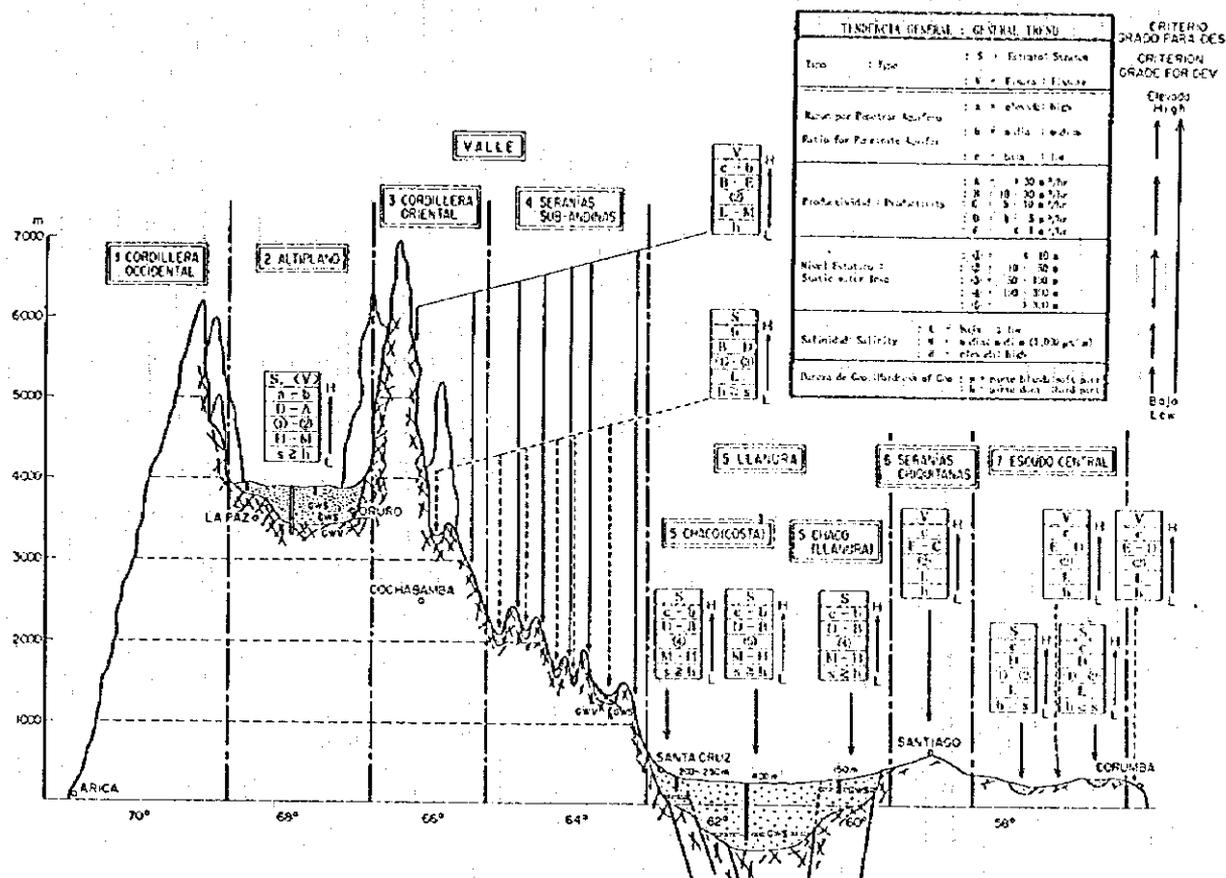




图 4-3-6 水理地質断面模式图



(5) チャコ地方（チュキサカ・タリハ東部、サンタクルース南部）

地層は第四紀の堆積層で透水性がよいが、降雨量が500～700ミリメートルと少なく、アマゾン川水系とラプラタ川水系の分水界に位置するため地下水賦存量は少ない。しかし、表流水は得にくく、浅井戸でも十分な水量が得られないため、深層地下水の開発を積極的に行う必要がある。チュキサカのルイスカルボ郡中央部の地下水盆では、帯水層深度が400メートル程度以上となっている。なお、タリハのグランチャコ郡では、中国の国際協力により井戸掘削が行われている。

2) 開発対象地下水及び深度、揚水量の推定

対象地域の地下水は、①浅井戸で取水できる不圧地下水、②深層の地層水として存在する被圧地下水、③基盤岩体の風化帯中の不圧地下水、④基盤岩体中の裂か水、⑤河川伏流水又は谷部の地下水流として存在する不圧地下水の5つに分類できる。

このうち、①は、アルチプレーノやベニ・サンタクルース平原では、従来、用水として最も多く利用されてきたが、濁り、塩分等のため飲料水としては不適な場合が多く、乾季に涸れることも多い。チャコ地方では、量的にもほとんど期待できない。

②は、従来あまり開発されていなかった地下水で、量的、質的に最も開発ポテンシャルが高い。

③は、ブラジル中央盾状地で従来利用されてきたもので開発ポテンシャルは高い。丘陵地帯でも、地域によっては期待できる。

④は、開発可能性は十分あるが、場所を特定することが困難である。しかし、アルチプレーノのように地層水が塩水化され水源が不足している場合は、水質が良好と考えられるため開発対象とすべきである。

⑤は、既存の地方給水施設の水源として、谷部に取水槽やダムを設け取水している水である。丘陵部の給水施設のない地域でも、涸れた河川や谷底部に滞留したものを取水している住民が多い。地下水流のある位置に浅井戸又は集水埋渠を建設すれば、取水可能な地域は多いと考えられる。しかし、集水面積の狭い地区では乾季に涸れる恐れがあり、集水面積の広い地区では水質汚濁や災害対策に留意する必要がある。

本計画は、地方住民に対する生活用水の供給を目標としており、雨季・乾季による水量変動が少なく水質が良好な深層地下水は、計画対象地域における生活用水の水源として適しており、開発ポテンシャルは高いと評価される。

計画対象とする地下水の帯水層深度の分布を、水理地質調査の結果、井戸データベース等に基づいて推定すると、図4-3-7に示すとおりである。各県別、郡別に帯水層深度、可能揚水量、地下水位を推定して表4-3-2にまとめた。

図4-3-7 帯水層の推定深度

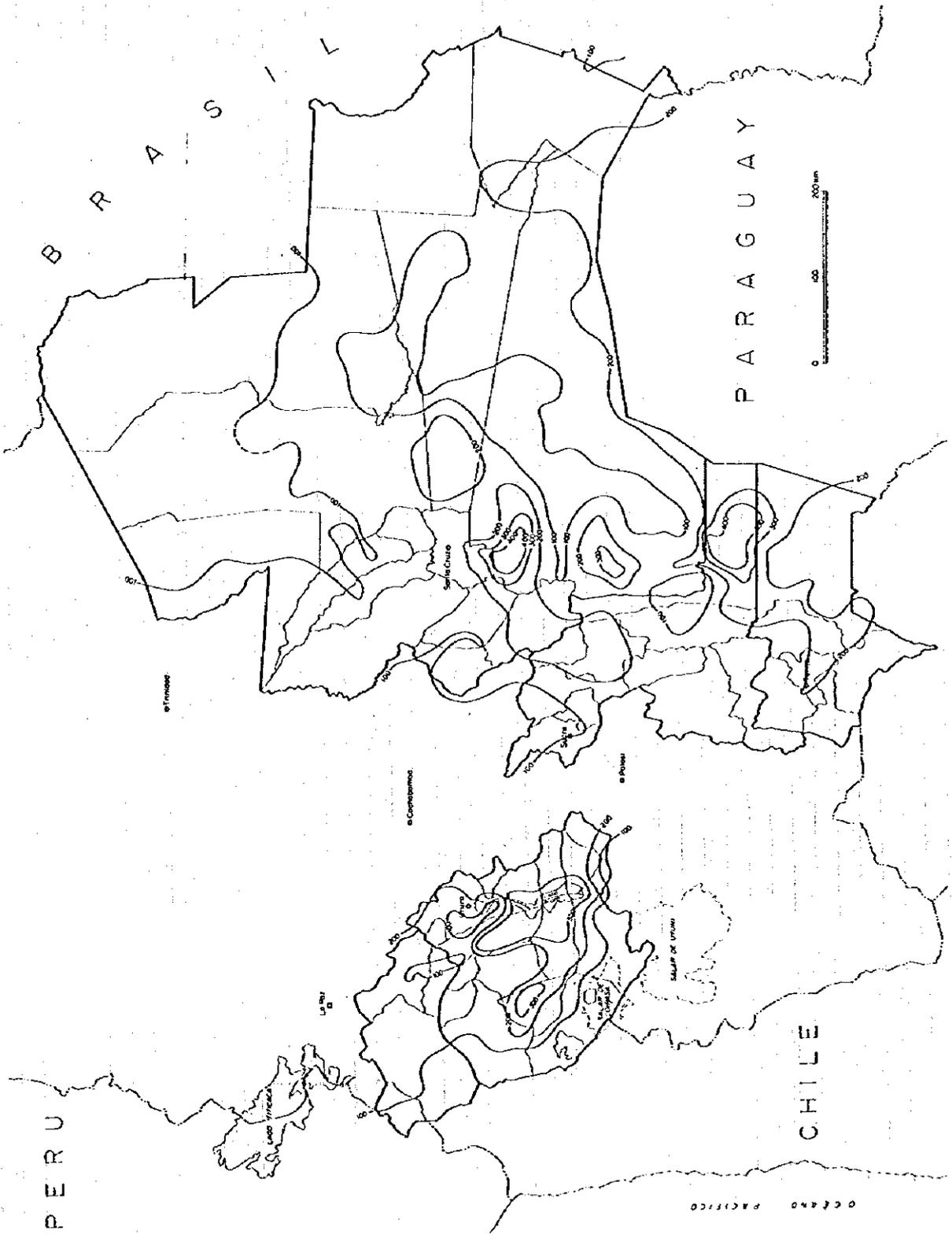


表4-3-2 県・郡別の地下水開発ポテンシャル

Dept.	Province	Depth of Aquifer (m)	Static Water Level (m)	Potencial Water yield (m <sup>3</sup> /hr)	Dinamic Water Level (m)	Specific Capacity (m <sup>3</sup> /day/m)
1. CHUQUI SACA	01. Oropeza	50~200	5~ 24	5~ 10	50	~ 0.3
	02. Azurduy	100~200	5~100	10~ 20	50	~ 0.8
	03. Zudanes	50~200	5~ 20	5~ 10	30	~ 0.3
	04. Tomina	200~300	5~ 30	5~ 10	50	~ 0.3
	05. H. Siles	100~200	15~ 90	5~ 20	50	~ 0.8
	06. Yamparaez	100~200	5~ 30	3~ 10	50	~ 0.3
	07. Nor Cinti	100~200	5~ 60	15~ 30	30	~ 1.0
	08. B. Boeto	200~300	5~ 30	10~ 20	50	~ 0.8
	09. Sud Cinti	100~200	5~ 30	20~ 30	30	~ 1.0
	10. Luis Calvo	100~450	5~270	3~ 15	92.9	0.08~ 0.5
2. SUR DE LA PAZ	03. Pacajes	50~200	5~150	3~ 15	50	~ 0.5
	13. Aroma	50~200	5~ 30	3~ 10	13.8	0.3 ~ 1.04
	18. G. Villarroel	50~200	5~ 20	5~ 15	30	~ 0.5
	19. G. J. M. Pando	50~200	5~100	5~ 10	50	~ 0.3
4. ORURO	01. Cercado	50~300	5~ 20	3~ 55	30	~ 0.8
	02. Challapata o Avaroa	200~350	5~100	10~ 20	30	~ 0.8
	03. Carangas	100~200	5~ 20	10~ 25	19.6	0.37~ 0.8
	04. Sajama	50~200	5~100	5~ 10	50	~ 0.3
	05. Litoral	200~350	5~100	10~ 15	50	~ 0.5
	06. Poopo	200~350	5~ 20	15~ 25	21.8	0.33~ 0.8
	07. P. Dalence	200~300	5~ 20	10~ 20	30	~ 0.8
	08. L. Cabera	50~300	5~100	3~ 10	50	~ 0.3
	09. Atahualpa	50~200	5~160	5~ 10	50	~ 0.3
	10. Saucari	100~350	5~ 50	3~ 20	50	~ 0.8
	11. Tomas Barron	100~200	10~ 30	5~ 15	30	~ 0.5
	12. Sud carangas	200~350	5~ 30	3~ 10	50	~ 0.3
	13. San Pedro de Totora	100~200	5~ 40	3~ 10	30	~ 0.3
	14. S. Pagador	100~300	5~ 20	10~ 15	30	~ 0.5
	15. Mejillones	50~100	5~100	3~ 10	50	~ 0.3
	16. Nor Carangas	100~200	5~ 20	15~ 20	30	~ 0.8

表4-3-2 県・郡別の地下水開発ポテンシャル

Dept.	Province	Depth of Aquifer (m)	Static Water Level (m)	Potencial Water yield (m <sup>3</sup> /hr)	Dinamic Water Level (m)	Specific Capacity (m <sup>3</sup> /day/m)
6. TARIJA	01. Cercado	100~300	5~ 20	15~ 30	20	~ 1.0
	02. Arce	100~200	5~150	3~ 30	20	~ 1.0
	03. Gran Chaco	100~400	3~100	5~ 30	90	~ 1.0
	04. Aviles	100~200	5~ 20	3~ 25	30	~ 0.8
	05. Mendez	100~200	5~ 60	15~ 20	30	~ 0.8
	06. Burnet O'connor	100~300	5~150	15~ 30	50	~ 1.0
7. SANTA CRUZ	01. Andes Ibanez	100~300	5~120	10~ 40	35.5	1.02~ 1.2
	02. Yarnes	100~200	5~ 30	15~ 40	30	~ 1.2
	03. Velasco	50~100	10~ 50	3~ 20	50	~ 0.8
	04. Ichilo	100~200	5~ 50	10~ 25	30	~ 0.8
	05. Chuquitos	50~300	5~ 50	3~ 45	90	0.03~ 1.5
	06. Sarah	100~200	5~ 30	3~ 20	50	~ 0.8
	07. Cordillera	50~350	5~150	3~ 40	90	~ 1.2
	08. Valle Grande	100~300	5~ 70	15~ 30	50	~ 1.0
	09. Florida	100~300	5~ 70	10~ 40	50	~ 1.2
	10. O. Antiesteban	50~200	5~ 30	5~ 30	50	~ 1.0
	11. Nuflo de Chaves	50~200	5~ 30	5~ 30	90	~ 1.0
	12. Angel Sandoval	100~200	5~ 40	3~ 45	50	~ 1.5
	13. Manuel Ceballero	100~200	5~ 60	15~ 30	50	~ 1.0
	14. German Bushu	100~200	5~ 60	3~ 25	30	~ 0.8
	15. Guarayos	50~200	5~ 20	3~ 25	30	~ 0.8

#### 4. 3. 3 地下水開発の条件

今後、ポリヴィアで地下水開発を推進していくにあたっての技術的条件と課題は、以下のとおりまとめられる。

##### 1) 井戸掘削機材の調達

ポリヴィアの井戸掘削は、公共機関が所有する機材は少なく、手掘りや民間業者の機材による委託工事で実施されてきた。しかし、民間業者による井戸掘削は費用が高く、機材は公共・民間とも老朽化して性能が悪いため、地下水の開発は遅れていた。

今後、地下水開発を推進するためには、深層掘削が可能で性能の優れた掘削機材が必要とされている。掘削機材は、対象地域の多様な地質に対応可能で、機動性に優れたものとする必要がある。

地方部における地下水開発は、公共機関が、その責任において計画的に実施していく必要がある。

##### 2) 井戸掘削技術の向上

井戸掘削は主に民間業者によって行われてきたが、掘削技術の基礎知識に乏しく経験のみに頼って工事を実施する業者や、管理能力の低い業者が多い。技術者に対する教育も不十分で、最新の掘削技術の普及が遅れている。

特に、深井戸掘削の経験は乏しく、掘削機材の操作方法、掘削作業計画の策定方法、機材修理技術、工事管理技術、検層・揚水試験・水質試験方法等について技術者に対する教育、研修が必要である。掘削技術の習得のため、先進国技術者との協同作業を実施することが望ましい。

##### 3) 地下水探査技術の普及

ポリヴィアの水理地質構造、地下水流動状況については十分な資料の蓄積がなされておらず、井戸掘削の成功率を向上させるためには、水文地質調査、物理探査等による事前調査を詳細に行う必要があり、地下水探査技術の普及、水理地質技術者の養成が重要である。

##### 4) 地下水保全対策の普及

地下水は貴重な資源であり、継続的な地下水利用を図るため、地下水汚染の防止、無駄な揚水の防止について住民に対する啓蒙、教育を図るとともに、揚水量、水位、水質の観測体制の整備、無計画な地下水開発の規制等の対策を講じる必要がある。

## 第5章 地方地下水開発戦略

### 5. 1 開発戦略の目的と基本構想

#### 5. 1. 1 開発戦略の目的

本地下水開発事業の目的は、計画対象地域5県の地方農村部の住民に対し、安全で衛生的な飲料水を適正価格で安定供給するために新しい水資源を開発し、給水サービスの現状を改善、拡大することであり、本開発戦略は、事業の早期実現の条件を整理し、基本方針を策定するものである。

本開発戦略は、ボリヴィア地方部における用水不足を解決するため、できるだけ早期に実施することが期待されている最優先計画として策定する。

#### 5. 1. 2 基本構想

本開発戦略は、次のような基本構想に基づき策定するものである。

##### 1) 農村部に対する生活用水の安定供給

ボリヴィア国における生活用水の供給は、都市部と農村部に大きな格差があり、農村部は給水率が極めて低く、用水不足は深刻である。給水システムの全くない村落が圧倒的に多く、給水サービスの整備が緊急の課題になっている。

農村部の水需要は、生活用水、営農用水が中心であるが、少なくとも飲料水と生活用水は、すべての住民に対し、安定的に供給する必要がある、最優先的に整備を図る。

##### 2) 地下水開発の推進

ボリヴィア国の給水サービスの遅れの最大の原因は、水源開発の困難性にある。従来、表流水や浅井戸による水源開発は行われているが、十分な水量が得られず水質も問題が多い。また、既存の給水システムがある地区でも、乾季には水源が涸れる場合が多い。

用水の水源は、表流水と呼ばれる河川や湖沼の水と、井戸水、湧水のような地下水との2つに大きく分けられる。地下水、河川水、湖沼水を比較すると表5-1-1のとおりであり、地下水は一般に水温と水質が安定しており、需要地点に近いところで井戸を設けて取水できるため、小規模水道の水源として適している。特に、深層地下水は水量が安定しており、計画対象地域のような降雨量が少なく水の得にくい乾燥地域でも開発可能性が高く、水源として適している。

計画対象地域における深層地下水は、開発ポテンシャルが高いにもかかわらず、機材、資金、技術の不足のため開発が遅れており、生活用水の水源としての地下水の開発を積極的に図るものとする。

表5-1-1 各種水道水源の比較

	地下水	河川水	湖沼水
水量	ほぼ一定。 短期間での人為的増加は一般に困難。	季節的に大きく変化。 水源涵養林、ダム建設等の人為的調節がある程度可能。	比較的安定。 ダム湖では放流量（取水量）の調節が可能。 集水域の水源涵養が不可欠。
水温	一年中一定。	気温と連動して変化。	表層では気温と連動。 下層ではやや異なる。
濁り	きわめて少ない。	多い。 降雨等により一時的に大きく変動。	洪水時に多い。 生物による濁りがある。
溶解塩類	一般に多い。 硬水になりやすい。	比較的少ない。	比較的少ない。
汚染の影響	一部の物質を除いて通常は受けにくい。 いったん汚染されると回復がきわめて難しい。	汚染を受けやすい。 原因物質、汚染の程度ともに広範囲で、高度の対応力が必要。	富栄養化現象に伴う汚濁を受けやすい。 いったん富栄養化すると回復がきわめて困難。
その他	過剰な汲上げは地盤沈下や塩水の侵入を招く恐れがある。	河川改修等による湧水の枯渇、自浄能力の喪失。 河川水の繰返し利用による上流側放流排水の下流側での取水。	生物を原因とする障害が発生する。 地域の観光開発と水質保全のジレンマ。

### 3) 開発事業の早期実施

地方村落に対する給水施設の整備は緊急性を要しており、中央政府と県のリーダーシップの下、国内関連機関、国際協力、NGOとの調整により短期間に重点的な投資を行い、地方地下水開発事業の早期実施を図るものとする。開発実施組織は、地方部の地域開発の責任を負っており、実施能力のある県が主体となるものとする。ボリヴィア国内で不足している機材、技術、資金の調達、国際協力援助の効果的、調整された参加を図って事業の実効性を確保する。また、継続的な事業の推進が可能となるようにするため、実施体制の強化と技術向上を図るものとする。

#### 4) 給水サービスの持続性

完成後の給水システムの運営、維持管理は、住民の自主管理を基本とする。中小村落では、給水施設がいったん建設されても、十分な維持管理がなされず放棄される場合が多いため、維持管理教育・衛生教育の実施、自主管理組織の設立の指導を行い受益者村落の自助能力を高める努力を払うとともに、支援体制の確立を図る。

また、給水施設の建設にあたっては、村落の維持管理能力に応じた適正技術の採用と住民参加を図る。

#### 5) 資源の保護と最適利用

地下水資源の保全に配慮し、地下水盆の水収支の均衡を崩さず、長期的に安定取水が可能な地下水開発を行う。

### 5. 2 計画の目標

#### 5. 2. 1 計画目標年次

本開発戦略の目標年次は、国家目標とあわせて2000年とする。対象事業の実施期間は、1996年から2000年の5年間と設定した。

#### 5. 2. 2 目標給水率

2000年の目標給水率は、各県ごとに都市部と農村部に分けて表5-2-1のとおり設定した。設定根拠は5. 3. 2節に示すとおりであり、事業期間の5年間に井戸掘削工事及び給水施設工事が実施可能な事業規模を検討して目標値を設定したものである。本開発戦略では、主に地方給水の整備を対象とし、都市部と現況給水率60%以上の農村集落については、目標年次においても、おおむね現況の給水率が維持されるものとした。

表5-2-1 計画目標給水率

県	現況給水率			目標給水率		
	都市部	農村部	計	都市部	農村部	計
チュキサカ	88.5	16.4	19.6	90	30	33
ラパス南部	26.0	16.4	17.0	80	30	34
オルロ	63.3	21.3	33.0	80	40	51
タリハ	88.8	36.8	54.8	90	50	65
サンタクルース	83.8	26.4	51.5	90	40	62
計画対象地域	81.7	23.3	40.5	89	38	54

### 5. 2. 3 給水サービス目標

本開発戦略においては、給水区域内の住民が雨季、乾季を問わず年間をとおして1日8時間以上給水サービスを受けられるか、約250メートル以内の距離でアクセスできることを目標とする。

給水サービスの質は、配水管の整備水準によってレベル1（ポイントソース）、レベル2（共同水栓方式）、レベル3（各戸給水方式）の3つに分けることができ、本戦略における給水計画は、人口集中地域では各戸給水、人口分散地域では共同水栓方式を想定し、配水本管までの整備を対象とした。給水施設の実施計画策定にあたっては、各集落の規模、形態、能力に応じた施設整備を行う必要がある。

### 5. 2. 4 水質目標

生活用水としての必要な水質条件は次のとおりである。

- ① 病原生物に汚染された生物又は物質を含まないこと。
- ② 人の健康の保護に係る有害物質を含まないこと。
- ③ 生活用水として障害を生じるような有害物質を許容量を越えて含まないこと。
- ④ 異常な酸性又はアルカリ性を呈しないこと。
- ⑤ 異常な臭味がないこと。
- ⑥ 外観がほとんど無色透明であること。

開発対象とする水は、ボリヴィア国飲料水水質基準に適合する水質であることを目標とする。これに適合しない場合は殺菌、ろ過設備を設けるものとし、飲料水として人の健康を害する有害物質を含んでいる水は水源としない。

## 5. 3 地下水開発戦略へのアプローチ

### 5. 3. 1 水供給データベースの作成・利用

地下水開発計画は、各給水ブロックの水需要及び水供給の現状、地下水開発の可能性、代替水源の有無、地形・地質・気象等を現地調査し、各ブロックにおける実態を把握して計画を行う必要がある。しかし、計画対象地域は広大で4,265の給水ブロックが存在しているため、水供給、地下水に関する基礎データを収集してデータベース化し、作成された水供給データベースを利用して地下水開発戦略を策定することとした。

### 5. 3. 2 給水ブロックの類型化

#### 1) 類型化の目的と考え方

地下水開発事業の計画目標、開発優先順位、開発戦略を策定するためには、所要施設・機

材の数量、事業費等を算定する必要がある。

本戦略策定の過程においては、水供給データベースを利用して給水ブロックを類型化し、類型ごとに標準的な施設・機材の概略仕様を定め、目標レベル達成に必要な施設・機材の数量、概算事業費を算定した。それを基に、ケーススタディを行って適正な事業規模、事業化戦略、事業形態等を検討したものである。

したがって、地下水開発事業の実施にあたっては、事前に現地調査を行い、各給水ブロックの実情を確認する必要がある。

類型化は、データベースを利用しているため、データの信頼性が確認できれば、その利用目的に応じて項目、区分を自由に変更することが可能である。全体の傾向を概略的に把握するためには少数の指標を用いて簡略化できるし、より詳細に検討する場合は項目を追加したり、区分を細かくするとよい。

## 2) 類型化の指標

類型化の指標としては、地下水開発の緊急度及び可能性について給水ブロックの特性を示す基本データであり、データベースの中でもデータの信頼性が高いと思われる次のような指標を設定した。

- ① 給水ブロックの規模（現在人口）
- ② 給水システムの状況（給水施設の有無及び現況給水率）
- ③ 地下水の開発可能性（帯水層の有無及び推定深度）
- ④ 給水ブロックの立地条件（地形・地質）

各指標について、県別に類型化を行った結果を表5-3-1～表5-3-4に示す。

表5-3-1 人口規模別ブロック数の各県別分布

人 口 (人)	≥2,000	1,000～	500～	300～	50～	計
		1,999	999	499	299	
チュキサカ	4	11	54	190	964	1,223
ラパス南部	2	7	15	43	695	762
オルロ	8	10	15	50	461	544
タリハ	5	7	28	93	378	511
サンタクルース	41	34	90	267	793	1,225
計	60	69	202	643	3,291	4,265

表5-3-2 既存システム及び現況給水率別ブロック数の各県別分布

現況給水率	既存施設 なし	既存施設あり			計
		1~29%	30~59%	60~100%	
チュキサカ	959	64	71	129	1,223
ラバス南部	676	24	19	43	762
オルロ	396	57	47	44	544
タリハ	248	38	67	158	511
サンタクルース	810	129	65	221	1,225
計	3,089	312	269	595	4,265

表5-3-3 帯水層深度別ブロック数の各県別分布

帯水層深度 (m)	0~49	50~99	100~	150~	200~	≥300	不明	計
			149	199	299			
チュキサカ	349	268	351	155	79	21	-	1,223
ラバス南部	160	35	450	117	-	-	-	762
オルロ	23	224	228	52	17	-	-	544
タリハ	-	197	150	5	94	2	63	511
サンタクルース	4	580	371	115	70	79	6	1,225
計	536	1,304	1,550	444	260	102	69	4,265

表5-3-4 地形条件別ブロック数の各県別分布

地域区分	74777-1	丘陵部		平野部			計
		山脈地帯	山麓地帯	東部平原	中央盾状地	河口平原	
チュキサカ	-	1,039	171	-	-	13	1,223
ラバス南部	689	73	-	-	-	-	762
オルロ	384	160	-	-	-	-	544
タリハ	-	315	130	-	-	66	511
サンタクルース	-	-	295	732	167	31	1,225
計	1,073	1,587	596	732	167	110	4,265

### 5. 3. 3 事業化ケーススタディ

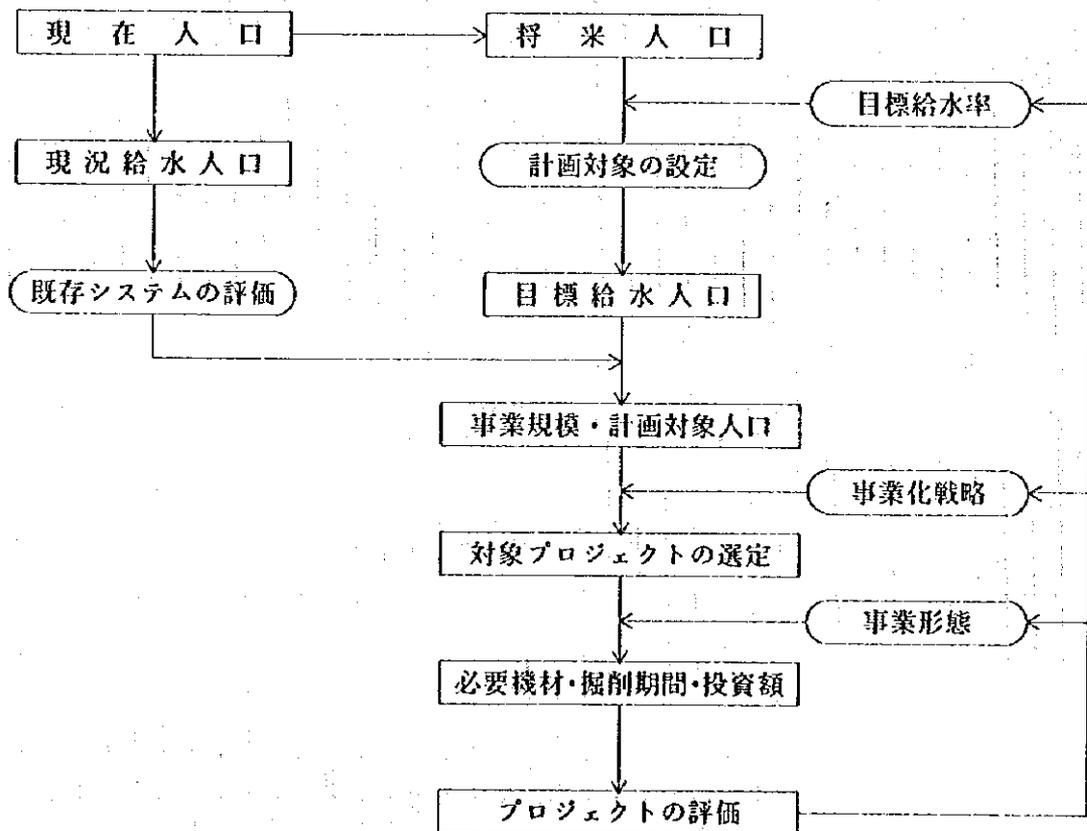
#### 1) ケーススタディの目的と手順

地下水開発事業の事業化の条件をまとめると、次のとおりである。

- ① 地下水開発の緊急性があること（用水が不足している、代替水源がない）
- ② 地下水開発が可能であること（水源となる帯水層がある）
- ③ 財政的に事業実施が可能であること（資金の調達が可能）
- ④ 事業実施組織に事業化の意欲・能力があること（技術がある、人員がいる）
- ⑤ 給水システムの持続的維持管理が可能なこと（組織・技術・財政的に妥当）
- ⑥ 事業効果が大きいこと

計画対象地域における地下水開発事業の計画目標値、事業化戦略の検討のため、ケーススタディを実施した。ケーススタディは、各県における地下水開発事業について、目標給水率、事業化戦略、事業形態を設定して、対象プロジェクトの選定とともに、必要機材、掘削期間、投資額を算出した。そして、事業効果、財政、技術、組織面から事業のフェーズビリティを評価して、適正な事業規模、計画目標値、事業化戦略の検討を行ったものである。ケーススタディの実施手順は、図5-3-1に示すとおりである。

図5-3-1 ケーススタディの実施手順



## 2) 計画対象人口

計画対象人口は、目標年次における目標給水人口から既存施設による給水人口を引いて求められる。既存施設給水人口は、各給水ブロックごとに、現況給水人口に既存給水施設の老朽化率を乗じて求める。次に、地下水開発計画対象人口は、計画対象人口に供用開始後の有効率を考慮して算定した。

$$\text{計画対象人口} = [\text{目標給水人口}] - [\text{既存施設給水人口}]$$

$$\text{目標給水人口} = [\text{計画対象地域内人口}] \times [\text{目標給水率}]$$

$$\text{既存施設給水人口} = [\text{現況給水人口}] \times [\text{既存給水施設の老朽化率}]$$

$$\text{地下水開発計画対象人口} = [\text{計画対象人口}] \div [\text{有効率}]$$

地方部の目標給水率を10%単位に設定し、給水率60%未満の農村ブロックのみを対象として地下水開発計画対象人口を各県ごとに算定すると、表5-3-5に示すとおりとなる。ここで、人口2,000人以上の都市、及び現況給水率が60%以上に達している農村ブロックは、計画目標年次においても、全体として現況の給水率レベルが維持されるものとした。

表5-3-5 地下水開発計画対象人口（地方部のみ対象）

区 分	現 況 給水率	目 標 給 水 率 (2000年)				
		20%	30%	40%	50%	60%
チュキサカ	15.9%	20,019	56,928	93,836	130,746	167,655
ラパス南部	16.4%	5,955	19,863	33,770	47,677	61,585
オルロ	21.3%	-	16,095	28,626	41,158	53,689
タリハ	36.8%	-	-	11,845	30,801	49,758
サンタクルース	25.1%	-	43,095	98,155	153,215	208,274

(注) 事業の有効率=80%と仮定。

## 3) 計画対象ブロックの選定

地下水開発事業の開発優先順位は、受益人口の大きい地区、現況給水率の低い地区、水源開発が容易で確実性の高い地区が高いと考えられる。このほか、住民の参加意欲、アクセスの容易さ、掘削機材の移動効率と作業効率等も配慮する必要がある。

このケーススタディでは、給水ブロックの類型化の指標とした現在人口、現況給水率、帯水層の推定深度の3つを用いて次のような3つの事業化戦略を設定し、計画対象ブロックの選定を行った。

[1] 未給水人口の多いブロックを優先する（経済効果優先型）

[2] 既存給水システムのないブロックを優先する（裨益効果重視型）

[3] 水源開発（井戸掘削）の容易なブロックを優先する（浅井戸優先型）

各県の目標給水率、事業化戦略ごとの選定ブロック数は表5-3-6～表5-3-10のと

おりである。事業化戦略〔1〕は、ブロック数が最も少なくなるが、給水率が高いにもかかわらず人口が多いため優先度が高くなるブロックも含まれている。事業化戦略〔2〕は、現況給水率0%のブロックだけを選定したため、県によってはブロック数がかなり多くなり、人口の極めて少ないブロックも含まれている。事業化戦略〔3〕は、住民1人当たりの掘削工事費の少ないブロックを選定したため、深層地下水以外に水が得られ難い地域が除かれてしまっている。

#### 4) 事業費・掘削期間の算定

地下水開発プロジェクトは、機材調達、井戸掘削工事、給水施設工事、調査・設計・管理業務等に区分することができる。国内資金及び外国資金の区分に着目した事業の実施方法としては、次のような事業形態が考えられる。

〔A〕 ボリヴィア自力建設。国内民間業者に工事発注して実施する。

〔B〕 掘削工事の実施を外国援助機関に依存し、給水施設工事はボリヴィア側で実施する。

〔C〕 井戸掘削機材を外国援助により調達し、工事はボリヴィア側で実施する。

各県ごとに目標給水率と事業化戦略を設定して事業対象ブロックを選定し、事業形態別に概算事業費と掘削工事期間を算定すると、表5-3-6～表5-3-10に示したとおりである。算定の条件は、以下に示すとおりである。

##### 〔条件設定〕

掘削工事期間は、国内民間業者に工事発注して実施する場合、外国援助機関が当該国から機材を調達して実施する場合、外国から調達された機材をボリヴィア人技術者が実施する場合に分けて算出した。事業費は、掘削機材調達費、掘削工事費、給水機材調達費、給水施設工事費、掘削工事要員人件費に分け、給水ブロックの類型ごとに単価を設定して試算した。掘削工事費は1メートル当たり、井戸ケーシング・スクリーン、揚水ポンプ・発電機等の給水機材調達費は1カ所当たり、配管・タンクその他の給水工事費は1人当たりの単価とした。

#### 5) ケーススタディの評価

地下水開発事業の実現のサプライサイトの制約条件としては、①計画期間内に事業完成が見込めること、②資金供出又は負担組織の財政力にみあっていること、③投資効率が代替プロジェクトとくらべて特に劣っていないこと、④組織・技術的に妥当性があることなどが考えられ、ケーススタディの評価基準を以下のとおり設定した。

##### 〔評価基準〕

- ① 計画目標を5年間で達成するため、掘削工事期間は5年間以下であること。
- ② 国外資金の総投資額は、1県当たり1,000万ドル以下であること。
- ③ 国内資金の総投資額は、今後5年間に給水部門に投資可能と推定される資金額を上回らないこと。投資可能額は、各県における基礎衛生部門に対する投資額実績及び旧開発公社の予算額実績を参考にして表5-3-11のとおり推定した。

表5-3-6 事業化ケーススタディの結果(千葉県)

目標 給水率	事業化 戦略	対象 戸数	計画対象 人口	事業形態	掘削機 台数	事業費(百万ドル)			1人当り(ドル)		掘削期間 (年)	評価
						国外資金	国内資金	合計	国外資金	国内資金		
20%	[1]	22	20,391	A. 民間業者委託	1台	-	3.2	3.2	-	156	1.6	×
				B. 掘削工事協力	1台	1.8	1.5	3.3	86	72	1.0	
				C. 機材調達協力	1台	5.1	2.0	7.1	252	97	1.3	
20%	[2]	27	20,094	A. 民間業者委託	1台	-	3.8	3.8	-	188	2.2	×
				B. 掘削工事協力	1台	2.5	1.5	4.0	124	77	1.4	
				C. 機材調達協力	1台	5.1	2.2	7.3	255	108	1.8	
20%	[3]	28	20,466	A. 民間業者委託	1台	-	3.3	3.3	-	161	1.4	×
				B. 掘削工事協力	1台	1.4	1.6	3.0	68	77	0.9	
				C. 機材調達協力	1台	5.1	2.1	7.2	251	103	1.1	
30%	[1]	94	56,995	A. 民間業者委託	2台	-	12.2	12.2	-	214	3.8	×
				B. 掘削工事協力	5台	8.6	4.7	13.3	151	83	1.0	
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	6.5	11.6	90	114	6.1	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	6.8	15.0	144	119	3.1	
30%	[2]	113	57,297	A. 民間業者委託	2台	-	14.5	14.5	-	253	4.9	×
				B. 掘削工事協力	7台	11.3	5.1	16.4	197	89	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	7.3	12.4	90	128	7.9	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	7.6	15.8	143	132	4.0	
30%	[3]	125	57,114	A. 民間業者委託	2台	-	12.8	12.8	-	224	3.2	×
				B. 掘削工事協力	4台	6.6	5.4	12.0	116	94	1.0	
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	7.2	12.3	90	126	4.9	
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	7.5	15.7	144	130	2.5	
40%	[1]	194	91,023	A. 民間業者委託	4台	-	24.3	24.3	-	259	4.1	×
				B. 掘削工事協力	10台	18.4	8.6	27.0	196	91	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	12.1	17.2	55	129	12.9	×
				C2. 機材調達協力	3台	10.0	12.7	22.7	106	135	4.3	×
40%	[2]	227	93,898	A. 民間業者委託	4台	-	27.7	27.7	-	295	4.8	×
				B. 掘削工事協力	12台	21.9	9.2	31.1	233	93	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	13.4	18.5	55	143	15.3	×
				C2. 機材調達協力	4台	11.8	14.2	26.0	126	151	3.9	×
40%	[3]	251	94,561	A. 民間業者委託	3台	-	25.5	25.5	-	270	4.7	×
				B. 掘削工事協力	9台	15.0	9.7	24.7	159	103	2.2	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	13.4	18.5	54	142	10.3	×
				C2. 機材調達協力	3台	10.0	14.0	24.0	106	148	3.6	×

(注) [C1] は機材1台の場合。[C2] は5年間での掘削完了に必要な台数。

は、資金的な制約を満足しない又は投資効率が劣るものを示す。

表5-3-7 事業化ケーススタディの結果（ラパス県南部）

目標 給水率	事業化 戦略	対象 加分 数	計画対象 人口	事業形態	削井機 台数	事業費（百万ドル）			1人当り（ドル）		掘削期間 （年）	評価
						国外資金	国内資金	合計	国外資金	国内資金		
20%	【1】	7	6,083	A. 民間業者委託	1台	-	1.1	1.1	-	188	0.6	×
				B. 掘削工事協力	1台	0.6	0.4	1.0	102	73	0.4	
				C. 機材調達協力	1台	4.3	0.9	5.2	707	140	0.5	×
20%	【2】	10	6,096	A. 民間業者委託	1台	-	1.1	1.1	-	235	0.8	×
				B. 掘削工事協力	1台	0.9	0.5	1.4	146	83	0.5	
				C. 機材調達協力	1台	4.4	0.9	5.3	715	153	0.7	×
20%	【3】	11	6,081	A. 民間業者委託	1台	-	1.4	1.4	-	225	0.7	×
				B. 掘削工事協力	1台	0.7	0.5	1.2	110	86	0.4	
				C. 機材調達協力	1台	4.4	0.9	5.3	717	154	0.5	×
30%	【1】	45	20,012	A. 民間業者委託	1台	-	5.5	5.5	-	275	3.7	×
				B. 掘削工事協力	3台	4.1	1.9	6.0	207	95	0.8	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	2.8	7.4	228	142	2.9	
30%	【2】	57	20,013	A. 民間業者委託	1台	-	6.7	6.7	-	333	4.7	×
				B. 掘削工事協力	3台	5.3	2.1	7.4	264	107	1.5	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	3.3	7.9	228	164	3.7	×
30%	【3】	77	20,102	A. 民間業者委託	1台	-	7.5	7.5	-	373	4.6	×
				B. 掘削工事協力	3台	4.9	2.5	7.4	245	127	1.5	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	3.8	8.4	227	190	3.6	×
40%	【1】	105	33,783	A. 民間業者委託	2台	-	12.2	12.2	-	360	4.3	×
				B. 掘削工事協力	6台	9.8	3.8	13.6	289	112	1.8	
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	5.8	10.4	135	171	6.9	×
				C2. 機材調達協力	2台	7.1	6.0	13.1	210	179	3.4	×
40%	【2】	128	33,934	A. 民間業者委託	3台	-	15.0	15.0	-	441	3.7	×
				B. 掘削工事協力	7台	12.6	4.3	16.9	372	125	1.7	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	6.7	11.3	134	198	6.8	×
				C2. 機材調達協力	2台	7.1	7.0	14.1	209	206	4.4	×
40%	【3】	180	33,799	A. 民間業者委託	3台	-	17.9	17.9	-	530	4.2	×
				B. 掘削工事協力	8台	14.1	5.3	19.4	417	157	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	8.3	12.9	135	246	10.0	×
				C2. 機材調達協力	2台	7.1	8.6	15.7	209	254	5.0	×

(注) 【C1】は機材1台の場合。【C2】は5年間の掘削完了に必要な台数。

は、資金的な制約を満足しない又は投資効率が劣るものを示す。

表5-3-8 事業化ケーススタディの結果（オルロ県）

目標 給水率	事業化 戦略	対象 台数	計画対象 人口	事業形態	削削機 台数	事業費（百万ドル）			1人当り（ドル）		削削期間 （年）	評価
						国外資金	国内資金	合計	国外資金	国内資金		
30%	[1]	20	16,427	A. 民間業者委託	1台	-	3.0	3.0	-	180	1.7	×
				B. 掘削工事協力	2台	1.9	1.2	3.1	116	74	0.6	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	1.7	6.8	278	105	1.4	
30%	[2]	44	16,169	A. 民間業者委託	1台	-	5.5	5.5	-	338	4.0	×
				B. 掘削工事協力	1台	4.5	1.7	6.2	281	104	2.5	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	2.7	7.3	282	164	3.2	×
30%	[3]	22	16,268	A. 民間業者委託	1台	-	3.0	3.0	-	185	1.7	
				B. 掘削工事協力	1台	1.8	1.3	3.1	112	77	1.1	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	1.8	6.4	260	109	1.3	
40%	[1]	55	28,650	A. 民間業者委託	1台	-	7.1	7.1	-	248	4.8	×
				B. 掘削工事協力	3台	5.5	2.5	8.0	191	88	1.0	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	3.7	8.3	159	128	3.9	
40%	[2]	113	28,650	A. 民間業者委託	3台	-	13.6	13.6	-	474	3.5	×
				B. 掘削工事協力	7台	11.9	3.7	15.6	416	129	0.9	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	5.9	11.0	159	208	8.3	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	6.2	14.4	286	217	4.2	×
40%	[3]	61	28,788	A. 民間業者委託	1台	-	7.3	7.3	-	252	4.6	×
				B. 掘削工事協力	3台	5.2	2.7	7.9	180	92	1.5	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	3.8	8.9	158	133	3.7	
50%	[1]	108	41,314	A. 民間業者委託	3台	-	13.6	13.6	-	330	3.3	×
				B. 掘削工事協力	6台	11.2	4.2	15.4	272	102	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	6.4	11.0	110	154	7.8	×
				C2. 機材調達協力	2台	7.1	6.6	13.7	171	161	3.9	×
50%	[2]	229	41,188	A. 民間業者委託	5台	-	26.1	26.1	-	633	4.1	×
				B. 掘削工事協力	13台	23.3	6.6	29.9	566	161	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	11.0	15.6	111	266	16.3	×
				C2. 機材調達協力	4台	11.8	11.8	23.6	286	286	4.1	×
50%	[3]	118	41,261	A. 民間業者委託	2台	-	13.5	13.5	-	327	4.6	×
				B. 掘削工事協力	7台	10.4	4.4	14.8	251	107	1.5	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	6.6	11.2	111	159	7.3	×
				C2. 機材調達協力	2台	7.1	6.8	13.9	172	166	3.7	×

(注) [C1] は機材1台の場合。[C2] は5年間で掘削完了に必要な台数。

は、資金的な制約を満足しない又は投資効率が劣るものを示す。

表5-3-9 事業化ケーススタディの結果(タリハ県)

目標 給水率	事業化 戦略	対象 ポンプ数	計画対象 人口	事業形態	削井機 台数	事業費(百万ドル)			1人当り(ドル)		掘削期間 (年)	評価
						国外資金	国内資金	合計	国外資金	国内資金		
40%	[1]	16	12,245	A. 民間業者委託	1台	-	2.8	2.8	-	233	2.1	×
				B. 掘削工事協力	2台	2.5	0.9	3.4	205	76	0.7	
				C. 機材調達協力	1台	4.5	1.5	6.0	366	123	1.8	×
40%	[2]	22	11,912	A. 民間業者委託	1台	-	3.2	3.2	-	269	2.3	×
				B. 掘削工事協力	2台	2.7	1.0	3.7	223	87	0.7	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	1.6	6.2	333	133	1.9	×
40%	[3]	21	12,105	A. 民間業者委託	1台	-	2.8	2.8	-	232	1.8	×
				B. 掘削工事協力	2台	2.0	1.0	3.0	161	85	0.6	
				C. 機材調達協力	1台	4.6	1.5	6.6	377	128	1.4	×
50%	[1]	59	30,983	A. 民間業者委託	2台	-	8.9	8.9	-	286	3.4	×
				B. 掘削工事協力	5台	8.0	2.7	10.7	259	88	0.9	
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	4.1	8.7	147	134	5.6	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	4.4	12.6	265	143	2.8	
50%	[2]	89	30,825	A. 民間業者委託	2台	-	11.2	11.2	-	362	4.2	×
				B. 掘削工事協力	6台	9.6	3.3	12.9	312	108	0.9	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	5.2	9.8	146	167	6.7	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	5.4	13.6	266	176	3.4	×
50%	[3]	72	30,905	A. 民間業者委託	2台	-	8.9	8.9	-	286	3.0	×
				B. 掘削工事協力	4台	6.7	3.0	9.7	216	97	1.0	
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	4.4	9.0	148	142	4.7	
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	4.7	12.9	265	151	2.4	×
60%	[1]	120	49,938	A. 民間業者委託	3台	-	16.4	16.4	-	328	4.2	×
				B. 掘削工事協力	8台	14.6	4.9	19.5	293	98	2.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	7.5	12.6	91	150	10.1	×
				C2. 機材調達協力	3台	10.0	8.0	18.0	209	161	3.4	×
60%	[2]	185	45,184	A. 民間業者委託	4台	-	22.1	22.1	-	489	4.3	×
				B. 掘削工事協力	11台	19.7	6.0	25.7	436	132	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	9.6	14.7	104	212	13.7	×
				C2. 機材調達協力	3台	10.0	10.1	20.1	221	224	4.6	×
60%	[3]	134	49,765	A. 民間業者委託	3台	-	16.3	16.3	-	328	3.9	×
				B. 掘削工事協力	8台	13.2	5.2	18.4	264	104	0.9	×
				C1. 機材調達協力	1台	4.6	7.7	12.8	92	155	9.2	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	8.0	16.2	165	160	4.6	×

(注) [C1] は機材1台の場合。[C2] は5年間で掘削完了に必要な台数。

× は、資金的な制約を満足しない又は投資効率が劣るものを示す。

表5-3-10 事業化ケーススタディの結果（サンタクルース県）

目標 給水率	事業化 戦略	対象 加戸数	計画対象 人口	事業形態	掘削機 台数	事業費（百万ドル）			1人当り（ドル）		掘削期間 （年）	評価
						国外資金	国内資金	合計	国外資金	国内資金		
30%	【1】	45	43,322	A. 民間業者委託	1台	-	6.8	6.8	-	156	3.8	×
				B. 掘削工事協力	3台	4.4	3.1	7.5	100	71	1.0	
				C. 機材調達協力	1台	5.1	4.0	9.1	118	93	3.1	
30%	【2】	61	43,454	A. 民間業者委託	2台	-	8.8	8.8	-	202	2.7	×
				B. 掘削工事協力	4台	6.0	3.4	9.4	138	78	0.9	
				C. 機材調達協力	1台	5.1	4.6	9.7	118	107	4.2	
30%	【3】	49	43,520	A. 民間業者委託	1台	-	6.0	6.0	-	138	3.6	
				B. 掘削工事協力	3台	4.0	3.2	7.2	91	73	0.8	
				C. 機材調達協力	1台	5.1	4.1	9.2	118	94	2.8	
40%	【1】	145	98,554	A. 民間業者委託	3台	-	20.2	20.2	-	204	4.2	×
				B. 掘削工事協力	8台	14.5	7.8	22.3	147	79	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	10.6	15.7	52	107	10.1	×
				C2. 機材調達協力	3台	10.0	11.1	21.1	101	113	3.4	
40%	【2】	179	98,341	A. 民間業者委託	4台	-	23.5	23.5	-	239	3.9	×
				B. 掘削工事協力	10台	17.8	8.5	26.3	181	86	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	11.9	17.0	52	121	12.4	×
				C2. 機材調達協力	3台	10.0	12.4	22.4	102	126	4.2	
40%	【3】	154	98,417	A. 民間業者委託	3台	-	19.6	19.6	-	199	3.8	×
				B. 掘削工事協力	8台	12.9	8.0	20.9	131	81	0.9	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	10.7	15.8	52	109	9.1	×
				C2. 機材調達協力	2台	8.2	10.9	19.1	83	111	4.6	
50%	【1】	275	153,248	A. 民間業者委託	5台	-	36.5	36.5	-	233	4.9	×
				B. 掘削工事協力	16台	28.3	13.2	41.5	185	86	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	18.4	23.5	33	120	19.7	×
				C2. 機材調達協力	4台	11.8	19.2	31.0	77	125	5.0	×
50%	【2】	337	153,503	A. 民間業者委託	7台	-	43.4	43.4	-	283	4.4	×
				B. 掘削工事協力	19台	35.7	14.4	50.1	232	94	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	20.8	25.9	33	136	24.8	×
				C2. 機材調達協力	5台	14.2	21.9	36.1	153	143	5.0	×
50%	【3】	297	153,497	A. 民間業者委託	5台	-	36.1	36.1	-	235	4.5	×
				B. 掘削工事協力	14台	25.3	13.6	38.9	165	89	1.0	×
				C1. 機材調達協力	1台	5.1	18.7	23.8	33	122	17.8	×
				C2. 機材調達協力	4台	11.8	19.8	31.6	77	129	4.5	×

(注) 【C1】は機材1台の場合。【C2】は5年間での掘削完了に必要な台数。

は、資金的な制約を満足しない又は投資効率が劣るものを示す。

- ④ 住民1人当たりの投資額は、国外資金が300ドル、国内資金は150ドル以下であること。

表5-3-11 給水部門への年間投資可能額の推定 (単位 千ドル/年)

	チュキサカ	ラパス南部	オルロ	タリハ	サタクルス	計
基礎衛生投資実績額(A)	3,352	1,345	3,472	3,415	8,720	20,304
旧公社自己資金額(B)	882	417	476	864	2,163	4,802
推定可能投資額(B×2倍)	1,760	830	950	1,730	4,330	9,600

(注) 基礎衛生投資実績額、旧公社自己資金額は、1991～94年の平均。

ラパス南部での投資額は、ラパス全体の16% (人口比率) として算定した。

ケーススタディ結果を分析、評価すると、以下のとおりまとめられる。

- (1) 外国援助なしとした場合 (事業形態 [A]) は、国内資金の住民1人当たり投資額が大きくなり、農村の小集落を対象とする地方地下水開発事業に対するインセンティブが小さくなる。
- (2) どのケースでも、目標給水率が上がるにつれて小集落が増えるため、1人当たりの事業費は高くなる。
- (3) 5年間でのフィージブルな事業完成が可能な計画目標率の上限は、チュキサカ30%、ラパス南部30%、オルロ40%、タリハ50%、サタクルス40%である。これ以上の目標値は事業量が大きすぎ、資金的、組織的、技術的、時間的に実現困難であると思われる。
- (4) 上記の目標給水率を設定した場合、5年間での事業完成に必要な掘削機材の最低台数は、チュキサカ2台、ラパス南部1台、オルロ1台、タリハ2台、サタクルス3台である。
- (5) 事業化戦略ごとの事業費を比較すると、ほとんどの場合 [1] が最も事業費が安く、投資効率がよい。
- (6) 外国援助は掘削工事のみ (機材供与なし) とした場合 (事業形態 [B]) と、掘削機材が供与され掘削工事はボリヴィア実施とした場合 (事業形態 [C]) を比較すると、総事業費は [B] の方が安くなる場合が多い。しかし、差額はさほど大きくなく、将来の掘削機材の有効活用を考えれば、事業形態としては [C] の方が望ましい。

#### 5. 4 提案プロジェクト

##### 5. 4. 1 計画対象ブロックの選定

計画対象ブロックは、事業化ケーススタディの結果を分析し、人口が多く現況給水率が低いブロックの優先度を高くすることとし、現況給水率が30%未満のブロックの中から未給水人口の多い順に選定した。