

ペルー国リマ市周辺地域生活用水開発計画調査事前調査報告書

ペルー国

リマ市周辺地域生活用水開発計画調査

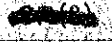
事前調査報告書

平成3年5月

平成3年5月

国際協力事業団

709  
618  
SS

社調二

91-061

四



10/10/8

JICA LIBRARY



1111039121

国際協力事業団

25865

ペルー国

リマ市周辺地域生活用水開発計画調査

事前調査報告書

平成3年5月

国際協力事業団

## 序 文

日本国政府は、ペルー国政府の要請に応え、同国リマ市周辺地域生活用水開発計画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することとなった。

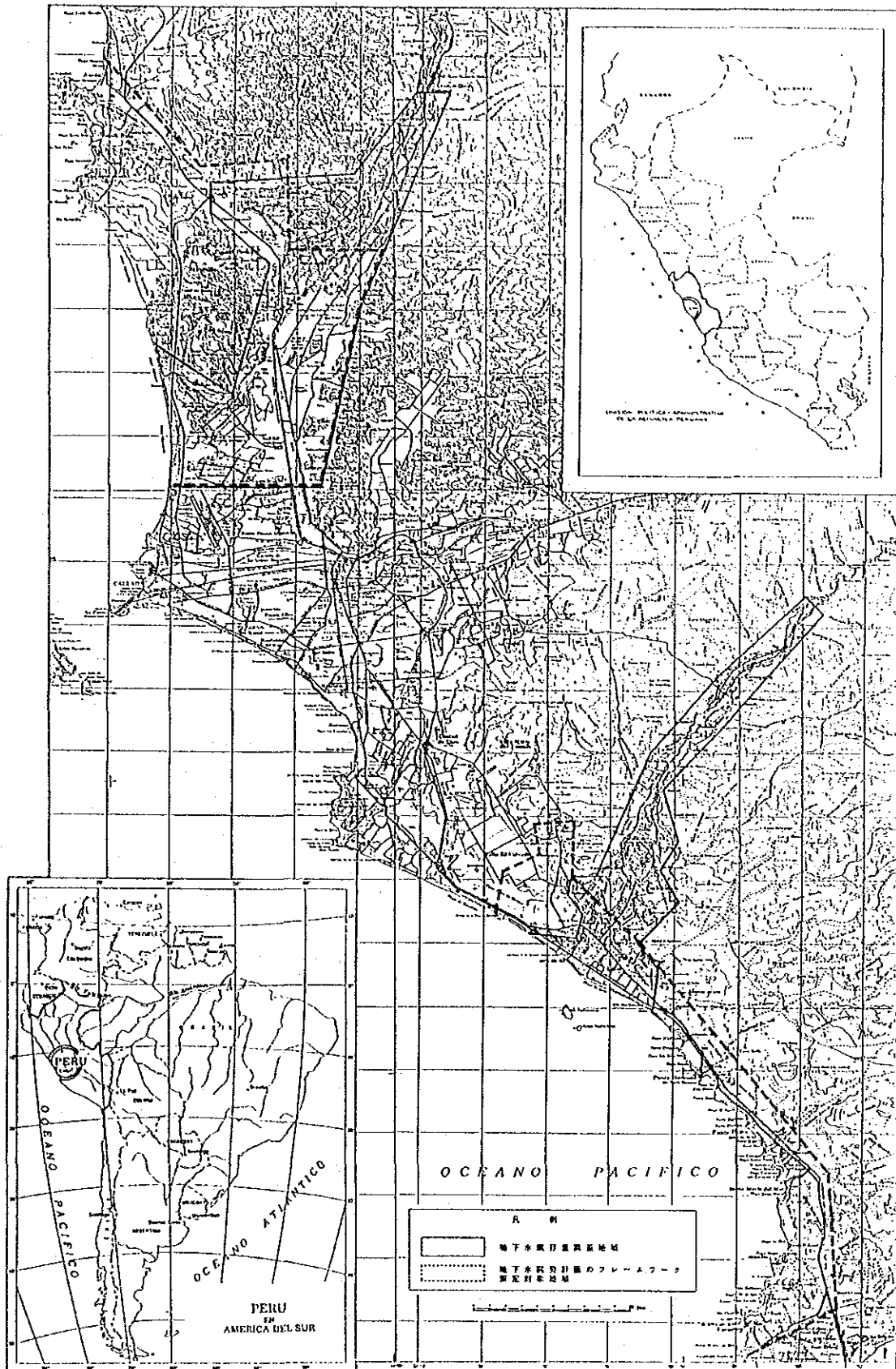
当事業団は、平成3年1月22日から同年2月5日まで社会開発調査部社会開発調査第2課長地曳隆紀職員を団長とする5名からなる事前調査団を同国へ派遣し、要請内容の確認、資料収集および現地踏査を行い、Scope of Workについて協議のうえ、署名を行った。本報告書はそれらの結果をまとめたものである。

本報告書が、今後の本格調査の立案、検討および実施に際して参考となることを期待するとともに、今回の調査実施に当たり多大の御協力をいただいたペルー国政府、在ペルー国日本大使館並びに関係各位に対し厚くお礼を申し上げる次第である。

平成3年5月

国際協力事業団

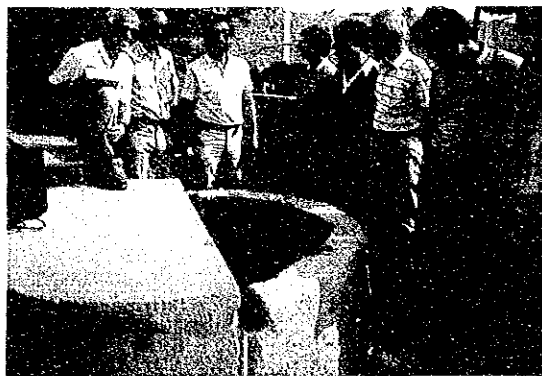
理事 玉光 弘明



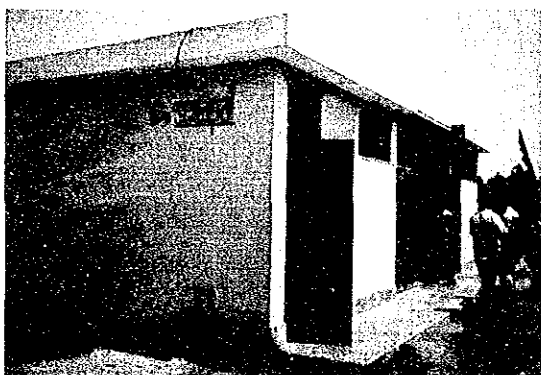
調査対象地域図



SEDAPALにて打合せ  
カウンターパートと調査計画打合せ



個人の手掘り井戸  
この種の井戸は非常に少なく、調査中にはここで確認したもの1眼のみである。  
(プエンテピエドラの北東、コパカバナ付近)



典型的なSEDAPALのポンプステーション  
(ラリベルタッドの北部、サントイサベル付近のチジョン川左岸)



典型的なSEDAPALのポンプステーション  
ステーション内のタービンポンプ (35 l/sec)  
(ラリベルタッドの北部、サントイサベル付近のチジョン川左岸)



集落発生の初期の状態  
公共の市街化計画とは無関係に、このようなむしろ囲いの集落が発生する。  
(ベントニージャ北西方の集落)

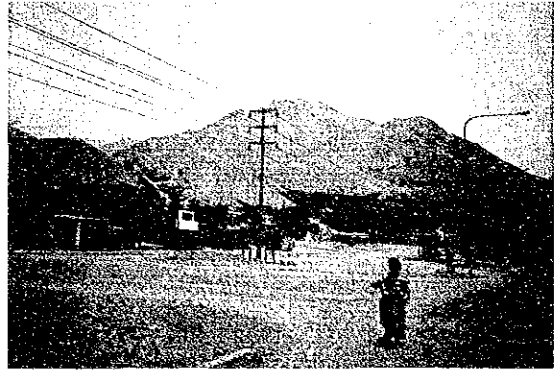


集落発生の2期の状態  
むしろ囲いの家は、写真左のような丈夫なものに改良され、さらに年月を経ると写真右のような煉瓦造りに改良される。  
(ベントニージャ西方の集落)

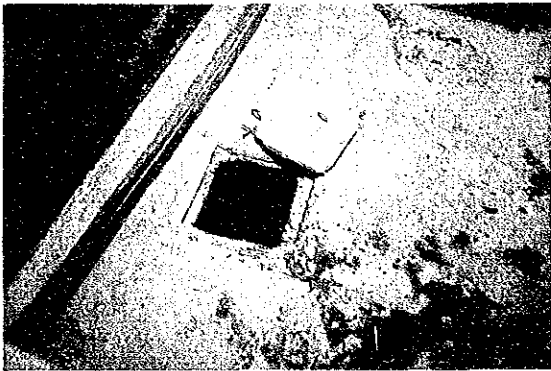




公共の市街化計画の地区  
このような地区の外縁部に、むしろ囲いの  
家が発生する。  
(ベンタニージャ南方の集落)



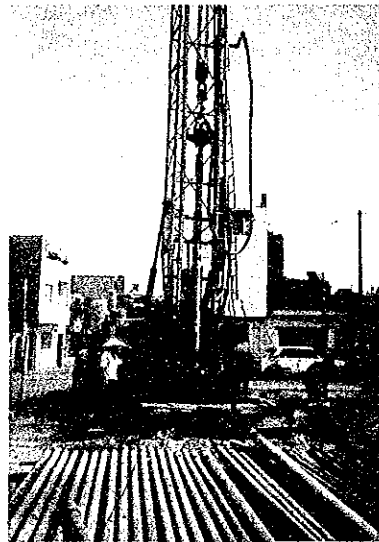
公共の市街化計画の地区の全景  
(ベンタニージャ南方の集落)



チジョン川左岸の湧泉  
(Estabo Punchauca)



アルゼンチンの援助によるボーリング(1)  
コードNo.438  
(San Martin de Porras西端のリマック川右岸)



アルゼンチンの援助によるボーリング(2)  
コードNo.438  
(San Martin de Porras西端のリマック川右岸)



地上ポンプ



リマ市市街地の給水塔



リマ市およびリマ市周辺地域に建設される一般的な大きさの井戸



SEDAPAL 総裁と地曳事前調査団長とのS/W調印

## 目 次

序 文

調査対象地域図

調査地写真

第1章 事前調査の概要	1
1-1 事前調査の目的	1
1-2 事前調査団の構成	1
1-3 相手国受入機関	1
1-4 調査日程	2
第2章 事前調査結果の概要	2
2-1 要請の背景および経緯	2
2-2 要請の内容	3
2-3 日本側の調査対処方針	3
2-4 S/W協議の経緯および結果	4
第3章 水道事業の概要	7
3-1 水道および地下水行政組織	7
3-2 SEDAPAL の上下水道事業の概要	7
(1) 組 織	7
(2) SEDAPAL の職員数	9
(3) 予 算	12
(4) 給水事業および地下水調査（井戸掘削）の体制	12
1) 給 水 事 業	12
a. 給水状況	12
b. 水道システム	15
c. 水質基準	19
2) 地下水調査（井戸掘削）の体制	19
3-3 他機関による援助およびその他のプロジェクトの動向	21
3-4 SEDAPAL の給水計画の基本方針	24

第4章 調査対象地域の概要	26
4-1 調査対象地域	26
4-2 地形・地質・気象の概要	27
(1) 地形	27
(2) 地質	28
(3) 気象	33
4-3 水資源利用の実態	34
4-4 既往の地下水調査	36
4-5 地下水開発の現状と問題点	37
(1) チジョン川, リマック川およびルリン川流域の帯水層	37
(2) 地下水開発の現状	38
(3) 地下水開発の問題点	38
第5章 本格調査の概要	41
5-1 調査の基本方針	41
5-2 目的	42
(1) チジョン川流域およびルリン川流域における地下水賦存量調査	42
(2) チジョン川流域およびルリン川流域の 地下水モニタリング・システムの確立	42
(3) 地下水開発優先地区の, 地下水開発可能量調査および地下水開発計画策定, 地下水開発計画のフレームワークの策定	43
5-3 調査対象地域およびその範囲	43
5-4 調査項目および内容	44
5-4-1 第1段階: 基礎調査	44
(1) 関連資料・情報の収集・整理	44
(2) 既往地下水調査のレビュー	44
(3) 井戸台帳作成	45
(4) 地表地質踏査	45
(5) 地下水利用実態調査	45
(6) 現地状況の把握(組織・運営体制のレビュー, 既存水道システムのレビュー, 都市開発計画のレビュー, 地元さく井業者の実態調査等の基礎的な調査)	45
(7) データベース様式確立の準備	46
5-4-2 第2段階: 詳細調査	46
(1) 物理探査	48
(2) 試掘調査および付帯作業	51

1) 試掘調査	51
2) 物理検層	53
3) 井戸仕上げ； スクリーン，ケーシング(S/C) 挿入および孔内洗浄	53
(3) 揚水試験	56
(4) 地下水水位継続測定機の設置と観測	56
(5) 一斉測水調査	56
(6) 河川流量調査	57
(7) 水質分析	57
(8) 地下水利用実態の詳細な調査	58
(9) データベースデータの調整	58
(10) 給水状況調査	58
5-4-3 第3段階： 解析・検討・開発計画の策定	59
(1) 水理地質構造の解明	59
(2) 帯水層区分の明確化	59
(3) データベースシステムの策定	59
(4) 優先給水候補地区の選定	59
(5) 水需要予測	59
(6) 水収支モデルの策定およびシュミレーション解析	59
(7) 給水計画のフレームワークの策定	60
(8) 総合解析（地下水開発計画，モニタリング，組織・運営体制， 社会・経済・衛生評価）	60
1) 地下水開発計画	60
2) モニタリング	60
3) 組織・運営体制	60
4) 社会・経済・衛生評価（プロジェクト評価）	60
(9) 提言	60
5-5 調査工程	62
(1) 揚水井	62
(2) 観測井	63
5-6 報告書	66
5-7 要員計画	67
5-8 調査用資機材	68

## 添付資料

1	要請書	73
2	S/W	87
3	議事録 (M/M)	99
4	面談者リスト	111
5	現地ボーリング業者業者リスト	115
6	収集資料リスト	121
7	関連資料の収集状況	125
8	参考資料および目次	147

## 内 挿 図

図3- 1	SEDAPAL の組織系統図	10
図3- 2	リマ市水道配管系統図（水源池，Atarjea）	18
図4- 1	調査地域の地質図凡例	29
図4- 2	チジョン川流域の地質	30
図4- 3	ルリン川流域の地質	31
図4- 4	チジョン川流域カラバイジョ付近の模式地質断面図	32
図4- 5	チジョン川，ルリン川流域の地下水位低下の状況	39
図4- 6	SEDAPAL による地下水生産量の推移	39
図5- 1	本格調査フロー（案）	47
図5- 2	物理探査，調査井（揚水井，観測井）掘削候補地区（チジョン川水系）	49
図5- 3	物理探査，調査井（揚水井，観測井）掘削候補地区（ルリン川水系）	50
図5- 4	ケーシングプログラム（揚水井）	54
図5- 5	ケーシングプログラム（観測井）	55

## 内 挿 表

表3- 1	SEDAPAL の人員構成	11
表3- 2	リマ市およびリマ市周辺地域の水の需要	14
表3- 3	西暦2000年の水の需要量に対する，現在の給水施設および給水状況の程度	15
表3- 4	公共用水質の種類と利用目的	19
表3- 5	細菌，有機質物質などについての基準値の一例	19
表4- 1	リマ市およびリマ市周辺地域の気象状況	33
表4- 2	リマ市およびリマ市周辺地域の水資源の利用の状況	35
表5- 1	本格調査対象地域の面積	43
表5- 2	試掘井一覧表（事前調査団案）	52
表5- 3	試掘井の掘削孔径	52
表5- 4	揚水井の掘削孔径および仕上げ孔径の決定理由	53

表5- 5	チジョン川流域の揚水井(最長 250m)建設の作業工程	62
表5- 6	ルリン川流域の揚水井(最長 150m)建設の作業工程	63
表5- 7	チジョン川流域の観測井(最長 250m)建設の作業工程	63
表5- 8	ルリン川流域の観測井(最長 150m)建設の作業工程	64
表5- 9	本格調査工程表(案)	65
表5-10	調査用資機材リスト(事前調査団案)	69



## 第1章 事前調査の概要

### 1-1 事前調査の目的

ペルー国政府の要請に基づき、次の目的により事前調査を実施した。

- 1) 相手国の要請内容の確認
- 2) 相手国の調査の実施体制の確認（実施機関、投資規模）
- 3) 既往調査、既存資料の確認、収集・予備解析
- 4) 現地の状況調査
- 5) 調査内容（対象地域、重点分野、調査期間）の意向確認
- 6) 実施調査のS/W、M/M協議、署名
- 7) その他、本格調査の実施方針を検討するのに必要なデータ、資料の収集、調査

### 1-2 事前調査団の構成

事前調査団は次の5名から構成された。

担当分野	氏名	所 属
団長・総括	地曳隆紀	国際協力事業団社会開発調査本部社会開発調査第2課課長
水文・地質	向井靖雄	国際協力事業団国際協力専門員
地下水開発	丸尾祐治	国際協力事業団国際協力専門員
調査企画	古川光明	国際協力事業団社会開発調査部社会開発調査第2課
ポーリング計画	西元弘隆	住鋳コンサルタント（株）
通 訳	大場	現地参加

### 1-3 相手国受入機関

リマ上下水道公社： Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL)

#### 1-4 調査日程

日順	月日	曜日	日程	調査内容
1	1月22日	火	東京 → ロンドン・エア	団長, 向井, 西元団員出発
2	23日	水	ロンドン・エア → リマ	団長, 向井, 西元団員ペルー到着
3	24日	木		丸尾, 古川団員合流 日本大使館, JICA事務所表敬, 打合せ SADAPAL表敬, 打合せ
4	25日	金		現地踏査(Chillon川流域)
5	26日	土		現地踏査(Lurin川流域)
6	27日	日		資料整理
7	28日	月		SEDAPALにて協議, 資料収集
8	29日	火		SEDAPALにて S/W, M/M確認, 資料収集
9	30日	水		SEDAPALにて S/W, M/M署名, 資料収集
10	31日	木		団長, 向井, 丸尾, 古川団員離ペルー国
11	2月1日	金		西元団員資料収集
12	2日	土	リマ → トロント	西元団員離ペルー国
13	3日	日	トロント	移動
14	4日	月	東京	西元団員帰国

## 第2章 事前調査結果の概要

### 2-1 要請の背景および経緯

ガルシア前政権(1985年から 1990年)においてペルーは深刻な経済危機に見舞われたが、フジモリ現政権(1990年 7月)において財政, 国際収支, 貧困などの不均衡是正などを含む経済政策を発表し, これに基づき現在国家開発を進めている。

リマ首都圏(1989年 5月現在, 人口約 650万人)は, 乾燥地域(年平均雨量数10mm)に属しており, 生活用水として, リマック川からの取水および地下水などを利用してきたが, 近年の急激

な都市化による水需要の増加にその開発が追いつかず、給水制限などの処置が取られるに至っている。特にリマ市周辺地域では、生活用水のほとんどを地下水に依存しており、チジョン川流域およびルリン川流域の地下水開発が急務となっている。

水不足問題を解消するために、マンタロー導水計画（ブレイク・ピラティ段階）が策定されているが、資金難のため実現が困難な状況にある。

このような状況から、ペルー国政府はリマ市周辺の地下水開発計画調査協力について 1990年 2月、日本政府に要請を起こしたものである。

## 2-2 要請の内容

本件要請の概要および項目は次のとおりである。

### (1) 概 要

受領済要請書の内容は、短期間内にリマ市およびリマ市周辺に上水供給をするため、水資源の最適利用・開発の調査協力であったが、その後ペルー国政府は、経済協力ミッション（1990年 9月）に対して、短期間内にリマ市周辺地域における生活用水を確保するため、特に地下水調査について希望した。特に、チジョン川流域の、アンコン(Ancon)、プエンテ ピエドラ(Puente Piedra)地区など約 40万人、ルリン川流域の、ビジャ エルサルバドル(Villa el Salvador)地区など約 30万人への給水を緊急課題に上げている。

### (2) 項 目

- a) 既存資料の収集
- b) 地形図作成（リマ市都市基本図でカバーされない部分）
- c) リモートセンシング
- d) 水文地質調査
- e) 気象・水文・水質調査（地下水位観測を含む）
- f) 物理探査
- g) ボーリング
- h) 開発計画の策定

## 2-3 日本側の調査対処方針

事前調査団は派遣に先立ち、先方要請については次のように分析するとともに、協議の対処方針を確認した。

- (1) チジョン川およびルリン川両流域の浅層地下水の過剰揚水により、両流域の地下水の水

位は現在低下してきており、この地域の生活用水の確保はますます重要な問題となってきた。イギリスのコンサルタントにより、チジョン川の浅部地下水のポテンシャルが概略把握されているものの、深部地下水のポテンシャルの把握がされていない。一方、ルリン川流域については詳しい状況は不明である。従って、本件調査では要請のとおり、リマ市周辺地域における生活用水を確保するために、先ずチジョン川流域およびルリン川流域の地下水賦存量を把握し、次に対象地域全体の地下水開発計画を策定する必要がある。そのためには、両流域の浅部および深部地下水のポテンシャルを把握しなければならない。またリマ市周辺地域は、水資源が限られていることから、地下水揚水に当たっては、許容揚水量および許容限界水位を把握するため、将来のモニタリング・システムの確立を考慮した計画を策定する必要がある。但し、モニタリング・システムの確立に必要なデータ、実施体制など整わない場合には、モニタリング・システムの提言に止めることとする。

(2) 海岸地域で、塩水侵入の可能性がある場合、塩水侵入の激しい地区をモデルにして調査対象地域の海水の侵入による塩水化の機構を解明し、塩水化防止対策を策定し、併せて水質を維持しつつ将来に向けての開発可能な適性揚水量の算出などの検討を行う。

#### 2-4 S/W 協議の経緯および結果

事前調査団は、日本にて打合された対処方針およびS/W(案)を基に1月24日28日および29日の計3回にわたってリマ上下水道公社(SEDAPAL)とS/W協議を行い、1月30日、SEDAPALのラファエル(Rafael)総裁と地成隆紀事前調査団長との間で、S/WおよびS/W協議に係わるミニッツの署名、交換を行った。

主な協議内容は、以下のとおりである。

##### 1. S/W(案)の変更点

###### 1) 調査内容: S/W 3. Study Item Phase III 3-3-4(a)

調査対象地域全体について包括的な地下水開発計画を策定する予定であったが、1981年以降、人口の伸び・分布の状況が正確に把握されておらず、SEDAPALでは現在計画に沿った事業が展開出来ない状態にある。無尽蔵に広がる人口の将来の分布状態を正確に予想することは、困難と判断されたため、今回の調査では、給水計画対象地域については、フレームワークプランに止めることとし、次のような内容に止めた。

A comprehensive plan for groundwater development,utilization and management in the study area を A general framework of water supply system for groundwater development in the study area.

## 2. M/M 記載事項および経緯

### 1)調査対象地域： M/M 1

地下水ポテンシャル把握のための調査対象地域と給水計画対象地域（フレームワークプラン）とは異なるため、地図上にそれぞれの対象地域の境界線を記入し M/M に添付した。

### 2)開発計画 ： M/M 2

以下につき合意を得た。

- a)フレームワークプランでは、井戸、ポンプ場、送水管および貯水施設までの設計に止める（SEDAPALの業務範囲：取水、送水管および貯水施設まで）。また、フレームワークプランとは、骨子計画であり、計画の内容は、2001年までの水需要に対する開発計画規模（給水可能量）の算定、貯水までの概略施設設計画、概略施設設計、概略プロジェクトコスト算出などに止める。
- b)優先地域は、プロジェクトコストの比較からの選定ではなく、既存住居地区の水不足の程度から選定することとした。
- c)優先計画では、給・配水管の計画は、含めないこととする。

### 3)調査工程 ： M/M 3

調査工程は、現時点では、試掘に調査期間がどれくらいかかるか読めないため、S/W では、調査開始から最終報告書の提出までを 24ヶ月としているが、試掘に必要な期間によっては、調査期間の変更もあり得ることで合意した。

### 4)水質分析 ： M/M 4

調査団は、水質分析を SEDAPALのラボで SEDAPAL側で実施するよう要望し、SEDAPALはそれに合意した。但し、SEDAPALには十分な試薬がないため必要な試薬は、本格調査時に購入する必要がある。

### 5)カウンターパート： M/M 5

調査期間中、各本格調査団員に対して SEDAPALより 1名ずつ、カウンターパートが出される。また、下記の調査に対して、必要に応じて下記のカウンターパートを補充することを SEDAPALは合意した。

- a)一斉測水調査 10名
- b)井戸の現地盤標高 6名
- c)アンケート配布およびその回収 6名
- d)データベース・インプット 2名

### 6)ガードマン ： M/M 6

SEDAPALは、危険と思われる地域に本格調査団員が立ち入る時は、SEDAPALからガードマンを出すことで合意した。

7)関係機関の支援 : M/M 7

SEDAPALは、本格調査をスムーズに実施するために、関係機関より以下のデータの収集および許可を得ることで合意した。

a)農業省管理井データの収集

b)農業省管理井の使用許可

c)JICAで現地実施中の「リマ首都圏都市基本図作成調査」に係わる地図（都市基本図，土地利用図）の調査中の使用許可

8)事務室の提供 : M/M 8

SEDAPALは、本格調査のために必要な机，いす，キャビネットなどを含む事務室を提供することを合意した。

9)関連資料の収集 : M/M 9

SEDAPALは、事前調査団が SEDAPALに提出した質問表に基づき、事前調査団滞在中に収集できなかった資料を本格調査が開始されるまでに収集することを約束した。

10)用地確保 : M/M 9

調査団は、SEDAPALに対して、本格調査で実施される試掘のための用地の確保を依頼した。SEDAPALはそれに合意した。

11)車両および器材の供与: M/M 11

調査団は、本格調査のために必要車両と必要機材の手配を要望した。これに対し、SEDAPALは、これらについては、日本側で用意あるよう、また調査終了後、供与してほしい旨、強く要望した。

12)最終報告書 : M/M.12

SEDAPALは、最終報告書のメインレポートについては、西、英語で提出して欲しい旨要望し、その旨回答した。

13)研修員受入れ : M/M 13

技術移転に関し、日本における技術の研修にカウンターパートを受け入れて欲しい旨 SEDAPALは要望し、調査団は関係機関にその旨伝えるよう回答した。

### 第3章 水道事業の概要

#### 3-1 水道および地下水行政組織

ペルー共和国における水資源の開発，供給および上下水道に関する組織，分担は次のとおりである。

全人口の66%が居住する，人口2,000人以上の都市部については住宅建設省(Ministerio de Vivienda y Construcción)，残りの人口2,000人未満の郊外部については厚生省が管轄する。住宅建設省が管轄する都市部においては，各都市ごとに事業実施機関として公社を設立することを原則とし，それらの公社を総轄する機関として，住宅建設省に SENAPA (Servicio Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado) が設置されている。

SENAPA は国全体のこの分野の政策を決定し，さらに各公社およびその実施する事業に対して，計画，財政，調整，ならびに技術面での援助を行うことを責務としている。

事業実施機関である公社のうち，主要なものに次の公社がある。

SEDAPAL (Lima)

SEDAPAR (Arequipa)

SEDAPAT (Trujillo)

#### 3-2 SEDAPAL の上下水道事業の概要

##### (1) 組織

リマ市上下水道公社(SEDAPAL, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima)は，41区からなるリマ郡と，6区からなるカジャオ(Callao)特別区で構成される，リマ市およびリマ市周辺地域における上下水道に関する全ての業務，すなわち事業の計画，立案，事業の実施，施設の維持管理および料金徴収を含む財務全般を扱っている。

SEDAPAL の組織系統は1991年に改組され，添付図3-1，3-2 および図3-1に示すように，理事会(directorio)を最高決議機関とし，総裁(presidencia, 系統図に記載されていない)を統括者とし，その下位に社長(gerencia general)がおかれている。さらにその下部組織として，中央，北部地域，東部地域担当の各本部(gerencia)が組織されており，中央担当の本部のみ“中央本部(gerencia central)”と表記され，それぞれ生産，開発，運営財政の各担当本部に分けられている。本件調査団と直接接して開発計画調査を進めるのは，中央担当の生産本部(gerencia central de produccion)および開発本部(gerencia central de desarrollo)である。なかでも，生産本部は下部組織として，地下水管理部(gerencia de aguas subterranas)，表流水管理部(gerencia de aguas superficiales)，給排水管理部(gerencia de recoleccion y disposicion final)を伴っており，本件調査に最も密接な関係にある。

地下水を管理するのは 生産本部の下部組織，地下水管理部である。この部はさらに下部組織として地下水課(Subgerencia de Aguas Subterranas)，操作係(Division de Operaciones aa. ss.)・整備係(Division de Mantenimiento aa. ss.)に分掌されている。このほか表流水を管理する表流水管理部に浄水施設課(Subgerencia de Plantas de Tratamiento)，技術係(Division Tecnica)および安全維持係(Division de Seguridad y Conservacion)が組織されている。

地下水管理部，表流水管理部および給排水管理部は，次のような業務を管掌する。

- 1) 地下水管理部(gerencia de aguas subterranas)
  - a. 地下水管理の政策，基準を規定し，それを導入，評価，実行する。
  - b. 地下水情報を分析し，そのコントロールと評価を行う。
  - c. 井戸のリハビリテーションを現状分析し，監督する。
  - d. 生産井に関する，使用・不使用の状態，圧度，自然情報，第三者からの情報などについて，現実的な観点から情報を見直す。
  - e. 帯水層の管理と地下水かん養に関する評価を行う。
  - f. 地下水探査の申請書の分析，承認，却下を行う。
  - g. 生産性の改善，拡大に関するプロジェクトを識別し，提案を行う。
  - h. ポンプ設備の整備に関する計画を推考し，実行およびコントロールする。
  
- 2) 表流水管理部(gerencia de aguas superficiales)
  - a. 表流水の生産プロセスに関する政策，基準を規定し，それを導入，評価，実行する。
  - b. 水処理のプロセスを計画し，それを導入，コントロールする。
  - c. プラントの予防的かつ正しい整備プログラムの推考を行い，実行する。
  - d. プロセスの水理条件と処理水の水量を測定，コントロールし，評価を行う。
  - e. システムの欠陥を検出し，正確で適切な措置を行う。
  - f. 必要な改善と拡大策を決定し，提案する。
  
- 3) 給排水管理部(gerencia de Recoleccion y Disposicion Final)
  - a. 取水，給水に関する政策，基準を規定し，それを導入，評価，実行する。
  - b. 主給水網，減圧ステーション，排水の幹線，ポンプ所などのオペレーションおよび維持のプログラムと，それらの操作システムを推考し，導入，コントロールする。
  - c. 給排水網の機能と水理学的条件の決定とそれに対する対応をコントロールし，評価する。
  - d. 主給排水網の台帳を推考，作成し，分配設備である 2次網の規準化および統合を



行う。

- e. 給排水網の漏水および浪費を検知し、必要な方策の措置を取る。これは、現在の Subgerencia de Redes の活動の最高機能の代行である。
- f. 改良あるいは拡張計画の選定と提案を行う。

SEDAPAL の地下水管理部では、民間企業による地下水開発（掘削）の申請書に関連して、事前調査結果の提出を義務づけ、提出書類を保管している。それには次の項目が含まれている。

- 調査地域
- 周辺の水源地分布
- 年間の揚水量
- 地質図
- 物理探査結果図
- 水理地質概念図
- 地下水位等高線図
- 帯水層の等深度線図
- 揚水試験結果
- 井戸の生産性試験結果
- 等電気伝導度線図
- 地下水分析のダイアグラム
- 井戸の掘削予定位置
- 予定井戸の設計図

また、SEDAPAL は 42本程度の地下水観測網(添付図 3-3)を保有し、定期的な水位観測を行っている。

## (2) SEDAPAL の職員数

SEDAPAL の 1990年 11月現在の人員構成を表3- 1 に示す。

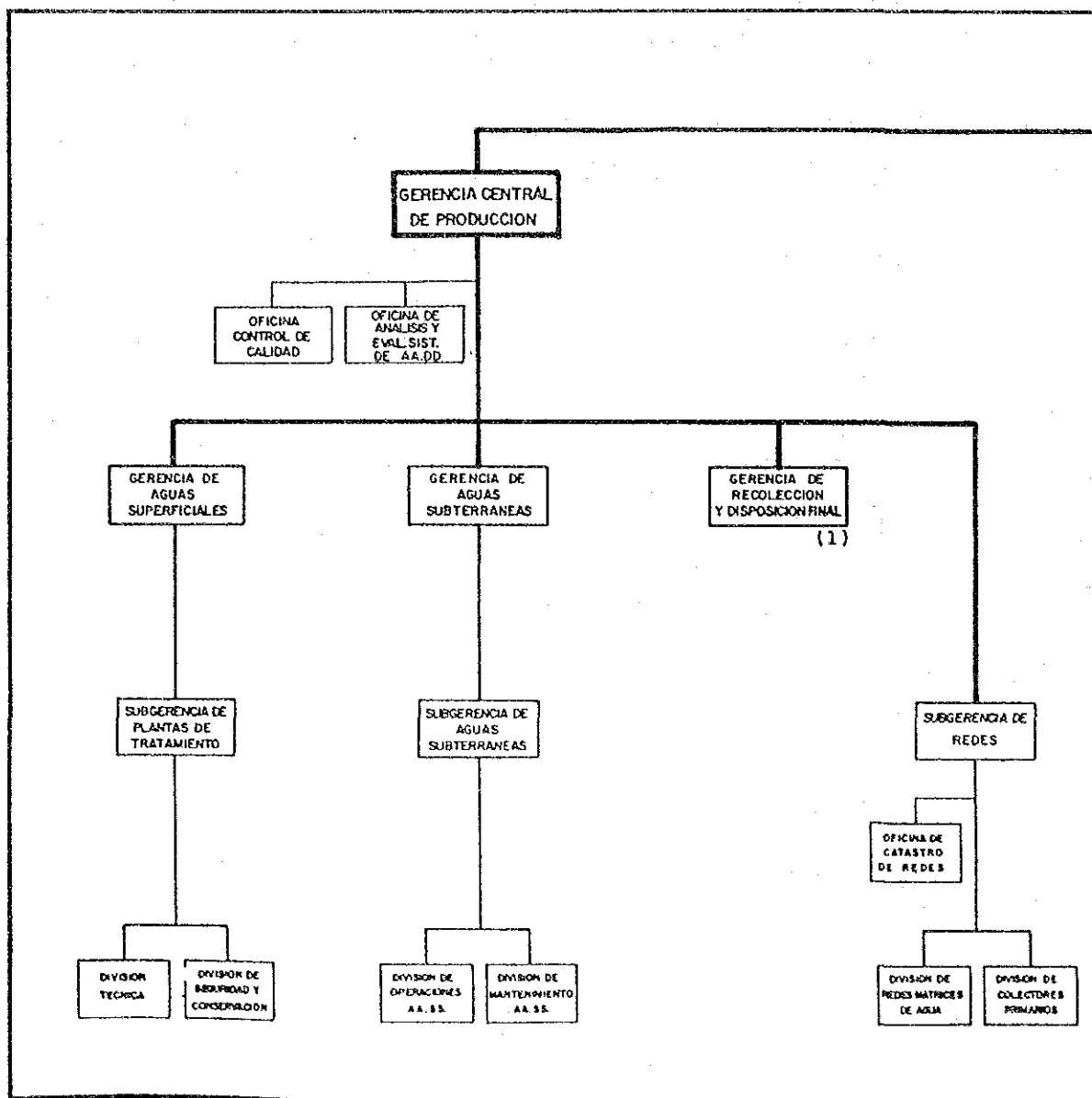


図3-1 SEDAPAL の組織系統図

表3- 1 SEDAPAL の人員構成

NOV., 1990

職 員				勞 働 者				合 計
法 4916		時限 職員	合計 職員	法 8439		時限 労働者	合計 労働者	
任命 職員	契約 職員			任命 労働者	契約 労働者			
1606	13	104	1723	1585	--	174	1759	3482

任 命 職 員 1606  
 任 命 勞 働 者 1585  
 時 限 契 約 者 278  
 契 約 者 (職 員) 13

### (3) 予 算

SEDAPAL の会計年度は 1月 1日 ~ 12月 31日である。この予算と財政の承認、執行、調整については、政令No.150, 216 に含まれる規定に効力がある。会計年度の終わりには年度終了の日から 80日の間に、バランスシート、損益表、年間会計記録表が作成される。SEDAPAL の予算および保有上水配管設備は次のとおりである。

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
総資産(百万円) <sup>(イ)</sup>	129.1	153.4	404.6	968.6	4,618.0	6,880.6	-	-
事業収入(百万円) <sup>(イ)</sup>	10.7	31.3	64.5	136.6	329.8	736.3	-	-
事業支出(百万円) <sup>(イ)</sup>	14.6	31.1	70.8	128.0	405.7	744.4	-	-
上水配管延長(km)	4,949	5,114	5,277	5,458	5,668	5,901	*5,965	*6,094

\*: 5月までの集計

### (4) 給水事業および地下水調査(井戸掘削)の体制

#### 1) 給水事業

##### a. 給水状況

リマ首都圏の上水の普及率は、1990年現在で 79 %とされている。しかしその後、特に近年のリマ市周辺地域の人口増加が激しく、この地域の現在の正確な上水の普及率および上水の給水状況についてその把握が困難になってきている。そのため、SEDAPAL の同一部署から得た資料であっても、同一事項に関する数値が異なっていることがあるが、リマ市およびリマ市周辺地域の現在の給水の状況は、SEDAPAL の本件プロジェクトリーダーの説明によれば、概ね下記のようなものである。

なお、下記の事項に関連する他の資料を添付資料として巻末に示す(添付表3- 1~8, 添付図3- 4 および 5)。

唯一の浄水場であるアタルヘア浄水場は 2箇所の調整池と 2基の浄水プラントおよび取水施設を所有している。

この調整池の容量は 410,000  $\text{m}^3$ および 103,500  $\text{m}^3$ の合計 513,500  $\text{m}^3$ にすぎない。これに対して、浄水プラントの現在の実質能力は No.1 プラント, 10.0  $\text{m}^3/\text{sec}$ , No.2 プラント, 5.0  $\text{m}^3/\text{sec}$ , 合計 15.0  $\text{m}^3/\text{sec}$  である。しかし、このプラント能力は、1991年 1月現在 14  $\text{m}^3/\text{sec}$  程度に止まっている。

一方、取水施設は 1963年に完成し、取水能力は、取水口で 20  $\text{m}^3/\text{sec}$  に設計されているものの、現在の能力は 18  $\text{m}^3/\text{sec}$  程度に低下しており、送水中の漏水などの理由により、実質 15  $\text{m}^3/\text{sec}$  の取水しか行われていない。

以上のようなアタルヘア浄水場の現在の諸施設の能力では、同浄水場からの供給量に、現在の

地下水の生産量を加えても後述の水の需要をまかなえない。このため地下水開発に加えて、アタルヘア浄水場の調整池の拡張およびプラントの処理能力の向上、地下水かん養などが急務になっており、3-3項に述べる、給水施設の増設あるいは能力増強のための各プロジェクトが計画されている。

SEDAPAL によれば、現在前述の給水施設から次のように送水を行っている(4-3項の表4-2 とは出典が異なるため、数字が若干異なる)。

1989年 5月現在のリマ市およびリマ市周辺地域の人口 6,555,700 人に対する水の需要は  $24.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $2,121,000 \text{ m}^3$ ; 表3-2)である。これに対して、SEDAPAL はその 68.1 %に相当する  $16.7 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $1,442,000 \text{ m}^3$ , 地下水+表流水 =  $7.2 < \text{表3-2} > + 9.5 < \text{リマック川, SEDAPAL 談} >$  の供給しか行っていない( $7.8 \text{ m}^3/\text{sec}$  の不足)。SEDAPAL はこの供給量( $16.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ )の 56.8 %,  $9.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $820,000 \text{ m}^3$ ; 参考, 表4-2)を、リマック川の表流水を処理して、同川左岸のアタルヘア浄水場から供給し、残る 43.2 %,  $7.2 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $622,000 \text{ m}^3$ ; 表3-2)を、集水埋きょおよびボーリング井戸などによる地下水で補っている。

地下水による給水のため、SEDAPAL は 1985年現在 253本のボーリング生産井を保有し、この時点で  $6 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $518,000 \text{ m}^3$ )の地下水を揚水しているのに対して、1989年 5月現在 SEDAPAL の地下水による給水施設の規模は  $9.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  (同  $821,000 \text{ m}^3$ )程度に増大したものの、実質生産可能量は  $7.1 \text{ m}^3/\text{sec}$  (同  $618,000 \text{ m}^3$ )程度に止まっている(ボーリング数は不明)。しかし、配水施設の老朽化、送水中の漏水などにより、実質生産量に対する有効水量は実質生産量の  $1/1.3$  程度、 $5.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  (同  $475,000 \text{ m}^3$ )にすぎない。

この地下水は、水道システムの項で述べる給水網に組み込まれ、あるいは独立した地域給水として使用されている。

前述のように SEDAPAL は 1989年 5月現在の人口 6,555,700人に対する水の需要量を  $24.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $2,121,000 \text{ m}^3$ )としているが、リマ市およびリマ市周辺地域の西暦2000年の人口は 8,300,000 ~ 11,400,000人になると予測されている。この西暦 2000年の同地域の人口に対する水の需要量を、現在の人口との人口比率で算出し、その需要量に対する SEDAPALの現在の給水施設および給水状況の程度を比較すると表3-3 のように示される。この表の西暦 2000年の水の需要量(\*b印)は、SEDAPALによる添付資料(添付図3-4, 添付表3-4)の“漏水防止を行わないで、水道普及率を現状の 79%とした場合の給水量”に近似し、同需要量(\*c印)は、添付図3-4, 添付表3-4の“漏水防止を行わないで、水道普及率を 95%とした場合の給水量”を越えている。

表3-2 リマ市およびリマ市周辺地域の水の需要

地 区 (A MAYO 1989)	人 口 (人)	1人 当たりの 需要 (l/人)	地区別 水 の需要 (l/a)	井戸からの水の供給	
				設備の規模 (l/a)	実需水量 (l/a)
ANCON	12600				
SANTA ROSA	900				
VENTANILLA	33800			232	85
PUENTE PIEDRA	53800	208	188	197	180
CARABAYLLO	82100	160	198	98	58
COMAS	433000	180	1173	829	610
INDEPENDENCIA	175500	150	398	-	-
SAN JUAN DE LURIGANCHO	548300	200	1844	739	850
RIMAC	208200	245	780	82	82
SAN MARTIN DE PORRAS	624800	220	2088	1294	914
LURIGANCHO	81900	170	* 193	258	140
CHACLACAYO	43300	170	* 102		
ATE	251800	233	883	849	485
EL AGUSTINO	233700	177	822	201	149
SAN LUIS	87000	285	373	-	-
LA VICTORIA	291300	358	1680	43	0
LINCE	83800	409	514	-	-
LIMA	408400	414	2532	122	93
BRENA	119700	345	821	21	21
JESUS MARIA	89100	421	558	82	0
PUEBLO LIBRE	94800	367	523	95	90
MAGDALENA	89800	353	323	-	-
SAN MIGUEL	148500	298	828	498	443
CARMEN DE LA LEGUA	19700	218	84	107	79
CALLAO	332700	237	1188	1328	1097
BELLAVISTA	82200	240	297	369	303
LA PERLA	68900	215	223	100	77
LA PUNTA	6300	359	34	25	23
LA MOLINA	83000	402	502	599	521
CIENEGUILLA	8800	247	32	88	52
SURCO	231000	298	1029	811	483
SAN BORJA	138100	287	817	85	48
SURQUILLO	117800	277	491	78	49
SAN ISIDRO	92300	480	667	91	24
MIRAFLORES	123700	440	859	92	52
BARRANCO	48100	287	208	-	-
CHORRILLOS	200200	154	484	334	290
SAN JUAN DE MIRAFLORES	252900	189	719	28	12
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	288300	150	889	98	72
VILLA EL SALVADOR	251000	150	568	-	-
PACHACAMAC	10300	183	28	12	8
LURIN	22200	183	81	80	33
PUNTA HERMOSA	1100				
PUNTA NEGRA	500				
SAN BARTOLO	5500				
SANTA MARIA	100				
PUCUSANA	5700				
合 計	8555700	10381	24553	9513	7159
平 均	139483	288	830	287	223

1989年 6月現在の状況

SEDAPAL の内部資料による(1991年 1月入手)。

\*: 漏水率は 1.2, その他は 1.3

表3-3 西暦2000年の水の需要量に対する、現在の給水施設および給水状況の程度

施設・給水	水の需要量/施設・ 給水状況; m <sup>3</sup> /day, (m <sup>3</sup> /sec)	給水能力の算出基準
需要量(1989年, MAY)	*a 2,121,000(24.553) (表3-2;	24.553 x 86,400 sec)
(2000年, )	*b 2,685,000(31.067) (MIN),	(2,121,000 x 8,300,000/6,555700)
(2000年, )	*c 3,688,000(42.685) (MAX),	(2,121,000 x 11,400,000/6,555700)
<b>施設の規模</b>		
地下水	821,000( 9.513) (表3-2;	9.513 x 86,400 sec)
表流水	1,728,000(20.000) (性能;	20.000 x 86,400 sec)
合計	2,549,000(29.513) (2000年, MINの需要量に対して 94 %)	(2000年, MAXの需要量に対して 69 %)
<b>実給水状況</b>		
地下水	618,000( 7.159) (表3-2;	7.159 x 86,400 sec)
表流水	1,296,000(15.000) (実性能;	15.000 x 86,400 sec)
合計	1,914,000(22.159) (2000年, MINの需要量に対して 71 %)	(2000年, MAXの需要量に対して 51 %)
<b>有効水量</b>		
地下水	475,000( 5.498) (表3-2;	7.159 ÷ 1.3 x 86,400 sec)
表流水	1,209,000(13.993) (1991年 1月; 14.000 x 86,400 sec)	
合計	1,684,000(19.491) (2000年, MINの需要量に対して 62 %)	(2000年, MAXの需要量に対して 45 %)

\*a, \*b, \*c; 文章中の説明用記号

このように、急激な人口増加が問題化している反面、給水施設には漏水、老化などによる有効水量の減少が見られ、今後も継続する人口増加に対応する給水施設の能力増加が SEDAPAL の急務となっている。

#### b. 水道システム

SEDAPAL は、現在表流水はリマ市北部を西流するリマック川から取水し、アタルヘア浄水場で処理後、給水網による給水を行っている。この給水網には途中、ボーリング井戸の地下水が各所で組み込まれる。給水網はリマ市を中心に図3-2 に示す地域に布設され、アタルヘア浄水場からの送水管が布設されていない地区では、ベタニージャ（ピエンテビエドラ）地区のように、ボーリング孔からの地下水による、独立した送水管系統によって地域給水が行われている。アタルヘア浄水場を中心とする給水網の総延長は 1988年5月現在で 6,094mである。

直接の給水方法は、主にリマ市市街地で各戸給水、周辺地域で各戸給水あるいは集落給水の方法が採られ、さらに給水施設の無い地区や、水不足の時期の各所にタンクローリーによる給水が

行われている。給水車による給水は民間の約 200台の給水車でも行われる。

アタルヘア浄水場は 3章 (4) 1 a. に述べた施設から、カジャオ、ヘスマリア(Jesus Maria)、ビジャエルサルバドール(Villa el Salvador)の 3大給水網およびこれらとアタルヘア浄水場を連結する送水管系統、チジョン川の左岸コマス(Comas, ラリベルタッド)地域への送水管系統、カントグランデ(Cant Grande)地域への送水管系統に送水している。しかし、カントグランデ送水管系統は本件調査に直接関係しない。

カジャオの給水網は 1963年以前に布設され、バキハノ(Baquijano)貯水タンク、PQE工場の貯水タンクおよびそれらの西側に展開する給水網で構成されている。この給水網は 1965年以降にヘスマリア地域の給水網と連結されている。

バキハノの貯水タンクの貯水量は 9,500 m<sup>3</sup>、PQE のそれは 15,000 m<sup>3</sup> である。送水管は 27"、24"、21"、15"、10" の順序で接続され、変則的に 21" 管から 12" 管が、24" 管から 12"、10" 管が接続されている。

ヘスマリアの給水網は 1964年に布設され、アタルヘア浄水場から処理水の供給を受けている。送水管は 72"、54"、42"、36"、30"、24"、20"、18"、16" の順序で接続され、変則的に 24" 管から 18"、16"、12" 管が接続されている。この給水網のみについての給水量のデータは入手していない。

本件調査に直接関連するビジャエルサルバドールの給水網は、ビジングウルスト(Billinghurst)給水網および三国工場公園(Parque Indust. cono sur)給水網からなり、これらの給水対象地区は、ビジャエルサルバドール、マリアデルトゥリウンボ(Maria del triunfo)、サンホアンデミラフローレス(San Joan de Miraflores)の 3 地区である。

ビジャエルサルバドール給水網は、プロセレス(Proceres)中継所を介して、全長 15kmのアタルヘア ~ サンホアン(San Juan)送水管系統でアタルヘア浄水場と連結され、同浄水場から処理水の供給を受けている。これらの給水系統は 1965年以降に布設されている。

プロセレス中継所からビジャエルサルバドールへは 900 l/secの送水が可能な送水管(φ24") が布設され、マリアデルトゥリウンボへは 1,200 l/secの送水が可能な送水管付け替え工事を実施中である。しかし、これらの給水系統への水の供給は、水の確保量およびプロセレス中継所のポンプの容量の関係で、現在充分に行われていない。SEDAPAL は、これらの地区への給水を、将来ルリン川からの給水に切り替える方針で、本件調査の結果を期待している。これに対して、サンホアンデミラフローレスは、地形的にアタルヘア浄水場からの給水、あるいは途中のボーリング孔からの地下水補給に頼らざるをえない。

アタルヘア ~ サンホアン送水管系統(アタルヘア ~ プロセレス中継所)は 72"、56"、54"、40"、36" 管の順序で配管され、給水網部のうちビジングウルストの給水網は 24"、16"



の順序で、三国工場公園の給水網は 24" , 16" の順序で接続されている。

アタルヘア ~ サンホアン送水管系統からは、アタルヘアから 6km および 9km 地点で、ヘスマリアの給水網への接続系統が分岐している。この接続系統はそれぞれアタルヘア ~ サンホアン送水管系統の 54" 管から、56" , 24" 管で分岐されている。

コマス (ラリベルタッド) 地域への送水管系統は、64" , 36" 管で連結され、延長 19km 程度である。

これらのほか、ベントニージャ (ブエンテピエドラ) 地区では、1987年に当事業団による飲料用水供給事業で建設された 7本の井戸とポンプおよび送水管設備により、地域給水がなされている。この給水施設からは現在週間スケジュールによって、交互に 1日 3本の井戸を稼働させ、88 l/secの送水を行っている。実際には 7本の井戸の合計で 238 l/secの揚水が可能であるが、90 l/secは漁港用に確保しており、60 l/secは配管工事の終了待ちの状態である。これらを含め、SEDAPAL は新しい地下水の確保量、800 l/secを加えて、チジョン川流域で 1,300 l/sec (1.3 m<sup>3</sup>/sec)の地下水を確保する方針である。

ブエンテピエドラ地区の給水設備は、孔径 500 mmの井戸、8" , 10" , 12" , 14" の導水管、24" の送水管、加圧槽、減圧槽、貯水槽および各貯水槽間を連結する連絡管からなる。送水管の総延長は 7,760 mである。

ブエンテピエドラの北西方、ヘルサレム (Jerusalen) には、ベントニージャから 8" 管が布設されており、これはさらに北西方のアンコンまで延長される予定である。ヘルサレムには 560戸が定住し、1戸当たり 7人が生活していると思われる。アンコンでは、現在地方公共団体が独自に地下水を確保している模様である。

ブエンテピエドラの西方、パチャクテックで (Pachacutec) は造成中の団地に対して、給水タンクを建造中であるが、現在配管はなされていない。

その南方、いわゆるベントニージャのミベル (Mi Peru) には、日本の自動車部品会社などの工場が集まっており、5,506戸の集落を形成している。給水の状況は不詳である。

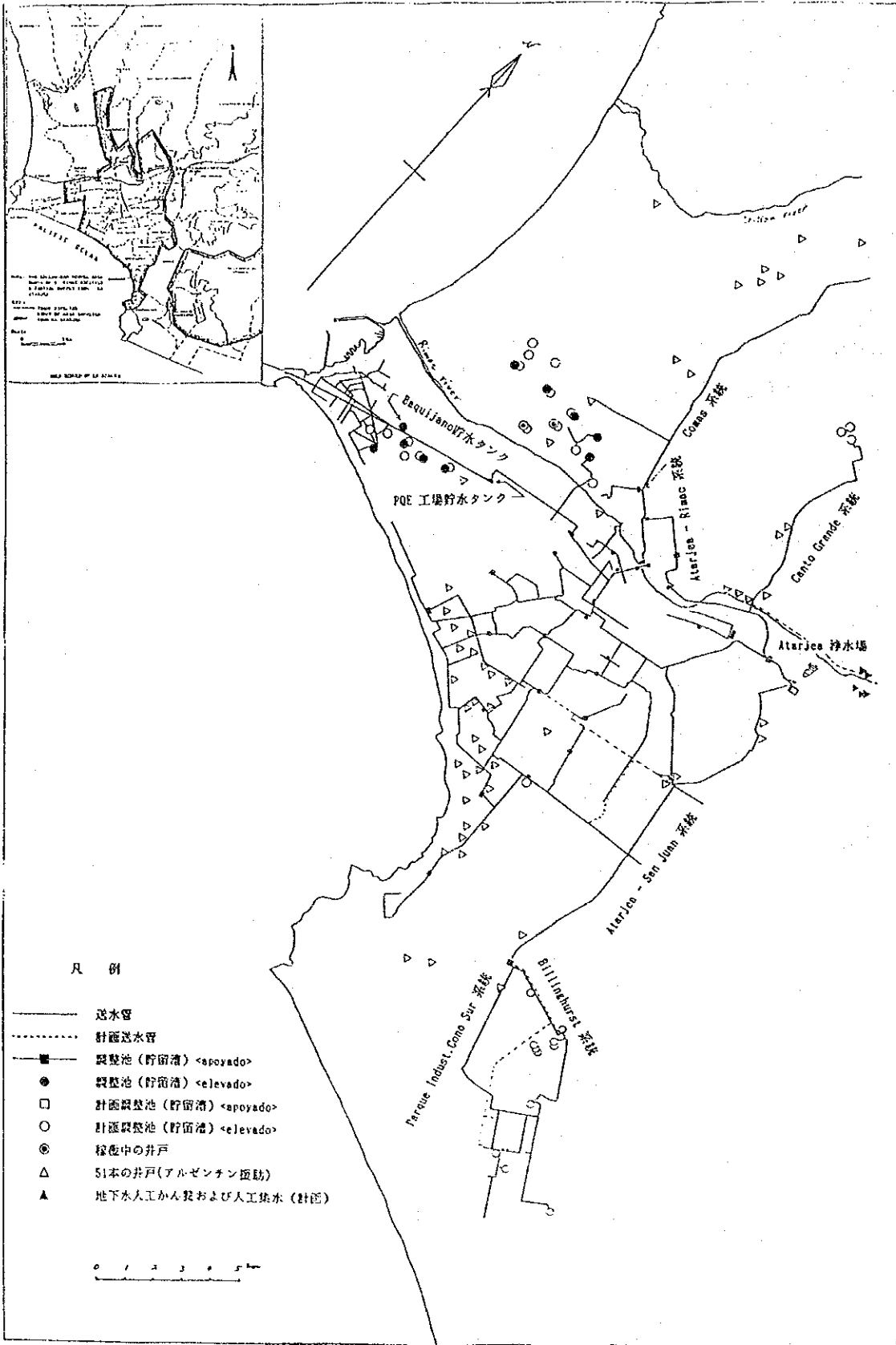


図3-2 リマ市水道配管系統図(水源池, Atarjea)

c. 水質基準

SEDAPAL は公共用水の水質を，利用目的に応じて 表3-4のような 6つの類型に分類し，細菌，有機質，有害物質などについて基準を定めている．その一例を表3-5に示す．

表3-4 公共用水質の類型と利用目的

類型	利用目的
I	簡単な消毒で給水される水
II	厚生省の承認する混合・凝集，沈澱，ろ過および消毒の処理過程と同等の処理で給水される水
III	生食野菜への灌漑および動物の引用に使用される水
IV	一次接触のレクリエーション地域の水
V	二枚貝漁業地域の水
VI	水棲動物群の維持およびレクリエーションまたは商業・漁業地域の水

表3-5 細菌，有機質物質などについての基準値の一例

項目 \ 類型	I	II	III	IV	V	VI
大腸菌群数	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
糞便性大腸菌群数	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000
BOD <sub>5</sub>	5	5	15	10	10	10
DO	3	3	3	3	5	4

2) 地下水調査（井戸掘削）の体制

SEDAPAL の組織の中で，地下水開発に関する掘削作業は地下水管理部の掘削班（詳細な部署は不明）が管掌しているが，掘削班は 2人の技師，2人の助手および 1人の機械技師によって構成されているにすぎず，オペレーターの育成が急務となっている．この掘削班は下記の掘削機械を保有しているが，現在，スペアパーツ等の不足により，アタルヘアのしき地内に保管されたままとになっている．

掘削機	日本製 TOP-750R 型，φ17.5" (445 mm) - 150 mm 用 アルゼンチン製 - 型， TPO-750 と同程度
-----	--

このほか，3-3項，他機関による援助等の項で述べるように，SEDAPAL は複数の民間の掘削業者との契約による掘削作業を行っている．これらの掘削業者のリスト，保有機材，能力について，添付資料 5 に示す．

これらの業者は添付図4-11のように、孔径 17" で深度 210m程度、孔径8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" で深度 330m程度の掘削実績を持ってはいるが、孔径 15 ~ 17" で 150m程度の掘削が、通常の掘削作業のようである。

業者は通常パーカッション法を採用し、地下水面に到達するまで孔径 1,200mmで手掘りの掘削を行い、地下水に到達後パーカッション工法を行っている。手掘りに要する期間が全工程の期間を大きく左右するため、リマ市およびリマ市周辺地域のように、静水位が東西方向に急激に変化し、その中で、局所的に極端に水位が低い部分が存在する地域では、1孔1孔の工程の予測が困難と思われる。

パーカッション法は深部になるほど工程が低下する反面、ロータリー法は深部でほどその長所が引き出されるため、地下水面が低下しつつあるリマ市およびリマ市周辺地域では、最近ロータリー法が採用されつつある。

前述の SEDAPAL の掘削班および掘削業者の、リマ市およびリマ市周辺地域における平均掘削能率は、手掘り作業、約 1 m/day 程度、機械掘り、約 5 m/day 程度である。

### 3-3 他機関による援助およびその他のプロジェクトの動向

昨年から生活用水の給水に対して、適正な料金徴収を行い、健全な上下水道事業の運営を目指している SEDAPAL の事業について、住宅建設大臣は、昨年(1990) 11月 30日、SEDAPAL が今後5年間で上下水事業のプロジェクトに210,887,000ドルを投資することを発表している(*el comercio*紙)。財源は日本を含む外国からの援助と自己資金による。

その発表によると、前項で述べた深刻な生活用水不足を解消するために、次のプロジェクトが選定されている。

- 1) アタルヘア浄水場の第 1 浄水プラントの改善
  - 投資額 871,000 ドル
  - 工期 12 ヶ月
  - 予想効果 10 m<sup>3</sup>/sec の処理が可能となる(1 m<sup>3</sup>/sec の増加)。
- 2) アタルヘア浄水場の第 2 浄水プラントの拡張
  - 投資額 22,550,000 ドル
  - 工期 19 ヶ月
  - 予想効果 5 m<sup>3</sup>/sec の処理能力増加
- \* 3) アタルヘア浄水場の調整池の拡張
  - 投資額 16,700,000 ドル
  - 工期 2.4 ヶ月
  - 予想効果 800,000 m<sup>3</sup> の能力(300,000 m<sup>3</sup> の増加)。
- 4) 新設井戸 51本による供給量の増大
  - 投資額 5,967,000 ドル
  - 工期 91年中に予定
  - 予想効果 3 m<sup>3</sup>/sec
  - 援助国 アルゼンチン
- 5) 新設井戸 16本によるリマ市北部への供給量の増大
  - 投資額 12,000,000 ドル
  - 工期 28 ヶ月
  - 予想効果 1 m<sup>3</sup>/sec (75万人)
  - 援助国 イタリア
- \* 6) 既存井戸 30本の改良と、57本の設備の改良(カジャトカ<Callao>およびリマ市中心部)
  - 投資額 8,315,000 ドル
  - 工期 18 ヶ月
  - 予想効果 -

\* 7) ルリン川とチジョン川の地下水供給のための調査

投資額 3,500,000 ドル  
工期 -  
予想効果 -  
援助国 日本 (本件調査)

\* 8) 新設井戸 6本によるリマ市北部への供給量の増大( ビジャ エルサルバドル  
<Villa el Salbadol> )

投資額 2,200,000 ドル  
工期 18 ヶ月  
予想効果 -

9) ユラクマヨダムの建設

投資額 38,500,000 ドル  
工期 -  
予想効果 3.5 m<sup>3</sup>/SEC の表流水をリマック川に供給  
備考 電力公社との調整が必要

10) 給水設備の漏水のコントロール

投資額 15,900,000 ドル  
工期 -  
予想効果 25 % の漏水率 (現在 47%)  
備考 メーター等の交換など ; SEDAPAL

11) システムの異なる給水設備の連結利用

投資額 5,000,000 ドル  
工期 48 ヶ月  
予想効果 上水の有効利用  
備考 リマック川, 井戸, 貯水池を連結して利用 ; SEDAPAL

12) 新興地区 (プエプロホーベン) への投資

投資額 3,241,000 ドル  
工期 18 ヶ月, 実行中  
予想効果 -  
備考 住宅供給公社が実施

13) 給水サービスのない地域への工事

投資額 11,250,000 ドル  
工期 25 ヶ月, 実行中  
予想効果 -

- 備 考 -
- 14) モリーナ地区への給水
- |      |              |
|------|--------------|
| 投資額  | 9,000,000 ドル |
| 工 期  | 24 ヶ月, 実行中   |
| 予想効果 | -            |
| 備 考  | 費用は受益者負担     |
- 15) 下水の再利用 (ルリン, サンバルトロ<San Bartoro>)
- |      |                              |
|------|------------------------------|
| 投資額  | 50,000,000 ドル                |
| 工 期  | 60 ヶ月, フィージビリテイスタディは終了       |
| 予想効果 | 4 m <sup>3</sup> /sec の下水を利用 |
| 備 考  | 5,000 ha を対象                 |
- 16) 海岸地帯の集水プロジェクト
- |      |                        |
|------|------------------------|
| 投資額  | 4,800,000 ドル           |
| 工 期  | 24 ヶ月, フィージビリテイスタディは終了 |
| 予想効果 | -                      |
| 備 考  | 優先度は高い                 |
- 17) 国庫からの支出によるプロジェクトは承認されたが支出されていない。

以上のプロジェクト計画を含めた, SEDAPAL の現在までのプロジェクトの動向は次のようなものである。

SEDAPAL は 1987年時点で 253本の生産井を稼働させており, そのほか 134本の廃棄井を保有している。一方, 同時点の SEDAPALの井戸建設プログラムは, すでに完了していたものを含め, 次のようなものである。

- a) 18本の井戸 (LPI.N°.18-82 ; 1987年 1月現在, 終了; 添付図3-6)
- b) 51本の井戸 (LPI.N°.03-82 ; 1987年 1月現在, 計画中)
- c) 91本の井戸 (民間業者, 1987年 1月現在 58本を完了し, さらに掘削続行中)

これらの井戸の位置は特別報告書(Informe específico) No.2 に示されているが, 51本の井戸の位置はその後一部変更されている(添付図3-7)。

以上のプログラムのなかで, 現在の SEDAPALの地下水開発は 2期に計画されている。

- 第 1期: アルゼンチンからの借款
- 第 2期: イタリアからの借款

アルゼンチンからの借款では上記の 51本の井戸が計画され(添付図3-7), 既に 48本の掘削が完

了している。現在リマック川の左岸に 10本掘削中で、その後右岸に 10本程度 (SEDAPAL談、第2期までの合計か) 掘削を行う。これらのボーリングの目的の 1つに、揚水による水位降下のために低下する沖積層の地下水不飽和部へ、河床からの地下水かん養を誘引することが含まれている。本事前調査でこのプロジェクトによるボーリングの 1つ(No.438)を、リマック川の右岸(SEDAPAL談と工程的にずれがある)で見ることができた。

イタリアからの借款では 16本の井戸が計画されている。それらの位置は不明確であるが、前述のように第1期プロジェクトの継続の可能性が考えられる。

そのほか、ES(Engineering-Science)の提唱に従って、3本の深井戸(180～250m)を含む18本の井戸が国際入札により掘削され(4-3項、添付図3-6、4-1～8)、さらにESの指導により5本の深井戸(添付図4-9～13)が掘られている。

これらの深井戸は 20 x 55 km<sup>2</sup>の広い範囲に分散されているため、それらの資料からリマ市およびリマ市周辺の地下水の賦存の状態を解析する状態に至っていない。このため SEDAPALの地下水調査に関する関心は深く、本件調査の要請も同局の一連の地下水開発計画に従って提出されている。

そのほか 1980年に、ペルー共和国政府のベンタニージャ(Ventanilla)地区飲料用水供給事業の一環として、日本国政府の無償援助による給水施設(生活用水供給計画)がチジョン川北方に建設されている。このプロジェクトはリマ市の衛星都市として 1992年に建設が開始されたベンタニージャ地区の開発が、住民の飲料水不足のために停滞し、計画変更を余儀なくされたことに端を発して要請されている。

### 3-4 SEDAPAL の給水計画の基本方針

SEDAPAL は既往の地下水調査の項に述べるマンタロー計画に盛り込まれた、マンタロー川からの導水計画の実行が当面困難な状況であるため、マンタロー計画のマスタープランに盛り込まれた、同計画実行までの諸緊急プロジェクトの計画を進めている。累進的に進めているこれら諸プロジェクトの目標対象年度を、当面西暦 2001年に設定しているが、近年の急激な人口増加(1989→2000年予想; 約6,500,000人→8,300,000～11,400,000人)により、最近および将来のリマ市およびリマ市周辺的生活用水の不足はマンタロー計画で想定されたより以上に厳しいものになっている。

この状況下で、SEDAPAL は当面、水の供給可能な方法から着手して行く方針を採り、次のように給水計画を進めている。



1) 目標設定年度

西暦 2001年

2) 1人当たりの給水量

表3-2 に示す様に，130(150) ～ 480 l/sec の範囲で，地区により設定量が異なる。これは住民の生活レベルに関する水の使用量の差，給水系統の漏水の程度の違いなどに原因する。

3) 水資源

地下水および表流水

4) 給水システム

都市部： 浄水場からの給水網（表流水）および

これとリンクするボーリング孔（地下水）

周辺部： 浄水場からの給水系統の延長（ボーリング孔とリンク），

ボーリング孔とリンクする独立した給水網，および給水車による給水

5) 水収支の改善

人工かん養，ダム，他流域からの導水（最終目標）

以上の基本方針の中で，チジョン川流域およびルリン川流域への給水は，同地区がアタルヘア浄水場から遠方にあたるため，地下水の供給を主体とし，アタルヘア浄水場からの供給を一部で補助的に行う方針をとっている。

## 第4章 調査対象地域の概要

### 4-1 調査対象地域

ペルー共和国は北緯  $0^{\circ} 01' 4''$  ~ 南緯  $18^{\circ} 21' 03''$  , 西経  $68^{\circ} 39' 27''$  ~ 西経  $81^{\circ} 19' 34.5''$  に位置し, 南アメリカでも最も早くから日本と交渉のあった国である。行政上国土は, 地方(region, 提案中), 州(departament), 県(provincia)などに区分され, リマ市は第Ⅶ地方, リマ州, リマ県に属する。

リマ州(departamento)は同国の南北のほぼ中央に位置し, 調査対象地域を含みリマ県は同州のさらに中央に位置する。リマ県は人口約 6,555,700人(SEDAPAL, 1989, 未刊行データ)を擁し, 面積約  $33,969\text{km}^2$  , その県都(Capital)が同名のリマ市で, ペルー共和国の首都である。リマ市は南緯  $12^{\circ} 06'$  , 西経  $77^{\circ} 03'$  に位置し, 面積  $2,800\text{km}^2$  , 41区からなるリマ郡と, 6区からなるカジャオ(Callao)特別区で構成されている。前述のリマ県の人口のほぼ全体が, リマ市とその周辺に居住している。

現在のリマ県の人口約 6,555,700人は, 西暦 2000年の人口予測では,  $8,300,000 \sim 11,400,000$  人に達するとされている。

リマ県はアンデス山脈の西側山麓, 太平洋に面する。その沖合いは南極から北流するフンボルト海流(寒流)と北から南流する暖流が合流するために豊富な漁場となっている。リマ市は大扇状地上に発展し, 海に面しているものの, 非常に低い降雨量のために市街地以外は半砂漠ないし砂漠の様相を呈し, このため, 恒常河川は市の北部を流れるリマック川のみである。この様子はアンデス山脈の西側海岸に沿った地域に共通した傾向である。しかし, フンボルト海流の海面から吹き寄せる湿って冷たい早朝の西風は, リマ市を霧でおおい, 同市に涼しさと潤いのひと時を与えている。

リマ市周辺地域のうち, チジョン川流域はリマック川の北方に位置し, 両河川下流の扇状地は見掛け上リマック川を介して接する。開けた扇状地はラリベルタ(La Libertad)付近でやや狭まり, カラバイジョ(Carabayillo)で逆三角形に開け, プンチャウカ(Punchauca)の上流で再び狭まって溪谷の地形を呈し, アンデス山脈の西山麓を形成する。

インデペンデンシア(Independencia)からラリベルタに至る地区は標高  $65 \sim 200\text{m}$  の間に在り, 既に町が形成され, さらに北部へ向けて発展しつつある。カラバイジョの南部も既存の町が同様の傾向を呈し, そのほかチジョン川の右岸に新興住宅街が造成されている。これらの町並にはレンガ造りの家屋が並ぶが, 町外れになると屋根の無いむしろ囲いの小屋が各所に見られる。これに対してカラバイジョ周辺のチジョン(Chillon)川に沿う地区と, 上流の低地は耕作地となっている。

カラバイジョの西方, プエンテピエドラ(Puente Piedra)は標高  $200\text{m}$  に在り, パンアメリカン

道路にそって幅の狭い町並みが続き、ラリベルタなど同様に、町外れにむしろ囲いの小屋が各所に見られる。プエンテピエドラの北西部の峠を越えると、周辺は一面の岩石砂漠の様相を呈し、さらに北西 10kmの太平洋岸、アンコン(Ancon)に至って、鉄筋コンクリートのビルを含む保養地の町並みが形成されている。

プエンテピエドラの西北西では、新興の町、パチャクテック(Pachacutec)を造成中で、同西方では、自動車部品工場および石油精製工場などが誘致されたベンタニージャ(Ventanilla)の工業地帯が形成されている。

ルリン川流域は地形的にも、水理構造的にもリマ市の扇状地と隔離されている。ルリン川は河口付近で幅 5km程度、上流 10km地点で幅 2km程度の扇状地を形成し、さらに上流へ次第に谷幅が狭まる。この地区の河川沿いは良好な耕作地となっており、道路に沿って町並みが形成されている。最大の町はパチャカマック(Pachacamac)、シエネグィジャ(Cieneguilla)である。

これらの町の人口は 3-2項の表3-2中に示されている。

## 4-2 地形・地質・気象の概要

### (1) 地形

リマ市の東方 100km および 150km付近にアンデス山脈の標高 5,000mを越える2つの山並みがNW - SE 方向に連続し、山並の間は地溝状に落ち込んだ谷を形成している。この谷を 4-4項で述べる流水の豊富なマンタロー川が南流し、やがてアマゾン(Amazon)川の上流、アプリマク(Aprimac)川に合流する。

リマ市市街地の北部を西流するリマック川は、このマンタロー川と山脈をもって隔離され、山脈の西側チクラ(Chicla)付近でSW方向に源を発する。リマック川はリマ市までの中間地点チョシカ(Chosica)の上流で流れを西方に変え、そこで北方を流れる最大の支流サンタエウラリア(Santa Eulalia)川と合流し、リマ市およびリマ市周辺への給水施設(浄水場)のあるアタルヘア(Atarjea)を経て太平洋に注いでいる。このアンデスから海岸に至る間は3つの地域に区分され、それぞれ山岳地域(sierra)、森林地域(servia)、海岸地域(costal)と呼ばれる。リマ市およびリマ市周辺は海岸地域に属する。

リマ市周辺では海岸から内陸へ急激に標高を増し、海岸から 20kmほどのところで標高 1,400 ~ 1,800mのNW-SE系の山岳地形を呈する。これらの山岳地形をNE - SW方向の深い谷がえぐり、削剝、運搬された礫は海岸地域の各所に扇状地を形成している。リマ市はこれらの中で最大級の扇状地に発展した市街地で、周辺地域を含めた複合扇状地の広さは、20 x 55 km<sup>2</sup>に達する。海岸地域の扇状地の河川に沿う平均勾配は、約 0.1' と非常に緩やかである。扇状地は海岸で標高差

60 ~ 150mの垂直な崖を形成する。この崖は中礫ないし巨礫大の礫に富む礫層で構成されるが、崖では扇端部に向かって、細粒砂ないしシルトの単層の数が増し、それぞれの単層の層厚も増加する様子が観察できる。この扇状地堆積物の層厚は最大 550 mに達する。

## (2) 地質

リマ州には、下部白亜紀、中部-上部白亜紀の地層が海岸から内陸側に左記の順序で海岸線に平行に、NW-SE系の帯状に配列し、さらに内陸側に第三紀ないし第四紀の火山岩類が同方向の帯状に幅広く分布する。これらの白亜紀の地層と、第三紀ないし第四紀の火山岩類の間には、同火山岩類の活動に関連すると思われる塩基性岩に富む深成岩類が同方向の帯状に進入している。この進入岩類は海岸付近にまで分布し、このため、進入岩類西側の白亜系の、地表の分布幅は非常に狭い。

本件調査地域の主要山稜部は削剝された進入岩類で構成され、この進入岩類を取りまくように、山稜部末端や山稜部の一部にのみ下部白亜系、中部-上部白亜系が小規模に分布している。これらの白亜紀の地層は、チジョン川右岸ではベンタニージャ(Ventanilla)、プエンテピエドラ(Puente Piedra)、サンタロサ(Santa Rosa)、アンコン(Ancon)、カラバジャ(Carabayllo)の北部付近、同川左岸ではラリベルタド(La Libertad)以北の山麓部に見られ、ルリン川沿岸では、海岸寄りの山麓部に鉢巻状に小規模に分布している。地質図(図4-2および4-3)には、これらの地層を一括して、基盤岩類(Cbs)として示す。

第四紀更新世には、前述の広域地質のNW-SE系の帯状配列に対して直角方向に主要河川が発達し、海岸地域に大量の砂礫が運搬され、前項で述べた大規模な扇状地が形成されている。これらの扇状地は、チジョン川沿岸のカラパイジャおよびカジャオ(Callao)とりマ市を中心に広く分布している。この扇状地を構成する厚さ 250 ~ 550 mの更新世の砂礫層(Pal)は、地下の基盤岩からなる埋没谷を埋めて堆積し、リマ市およびリマ市周辺の優秀な帯水層と成り、これらの地域への全生活用水給水量の40%を供給している。この埋没した谷を埋める扇状地の幅はチジョン川およびリマック川流域で広く、その広い埋没谷の中に、特に深く細長い峡谷が形成されている。これに対して、ルリン川流域に同時代の幅の広い大規模な扇状地は形成されていない。

チジョン川は更新世の砂礫層(Pal)の表面を流れ、この流路に沿って沖積層(Qal)が小規模に堆積しているのに対して、ルリン川流域では主要な平坦部は沖積層(Qal)で埋められている。ルリン川下流部のパチャカマック(Pachacamac)付近では、沖積層の厚さは150m程度と考えられる。

本件調査地域の地質を図4-2および図4-3に、チジョン川流域カラパイジャ付近の模式地質断面図を図4-4に示す。

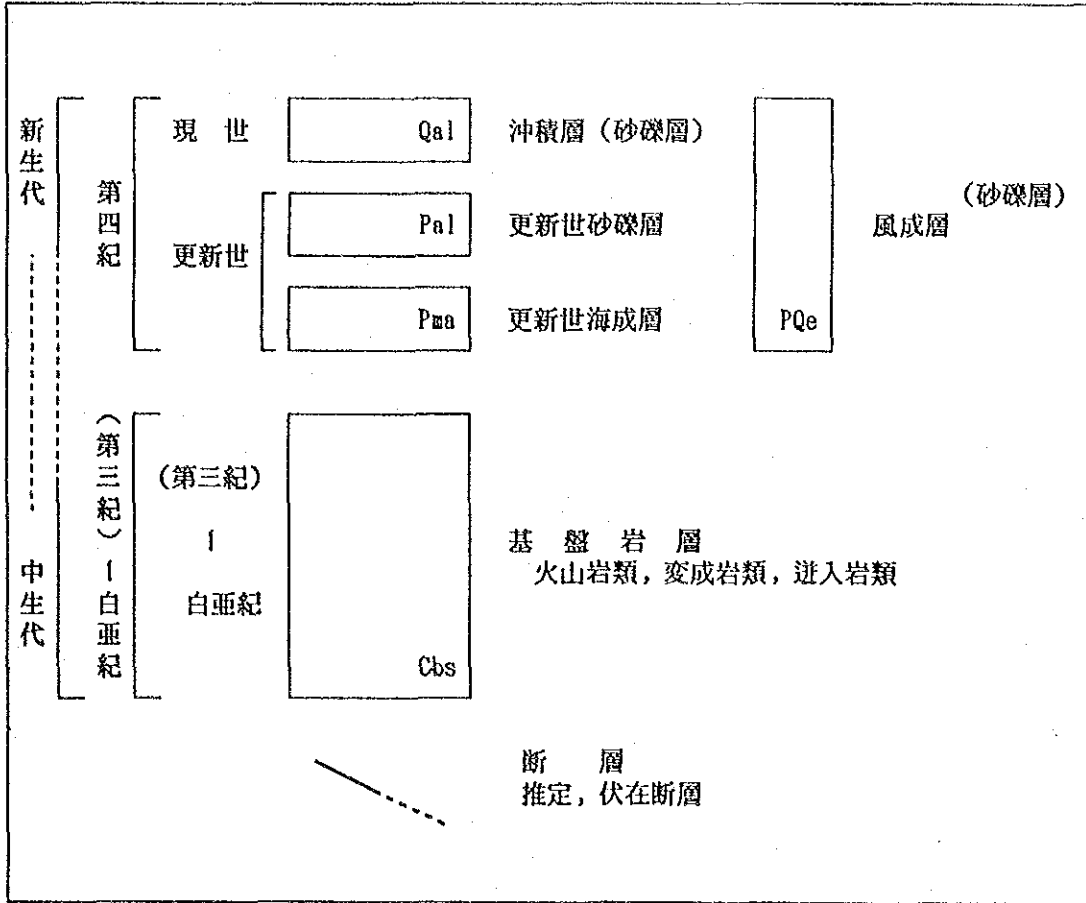


図4-1 調査地域の地質図凡例

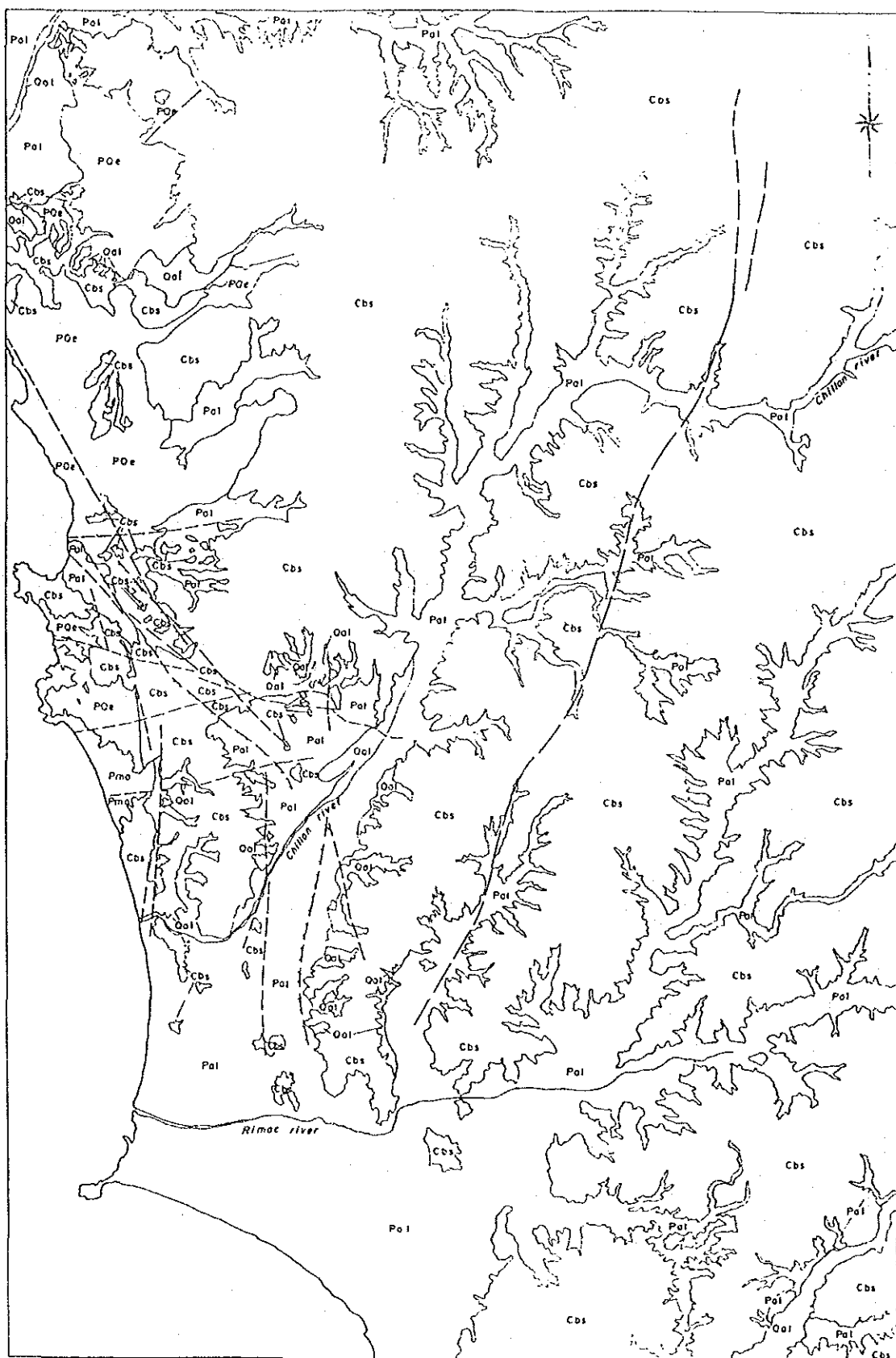


図4-2 チジョン川流域の地質

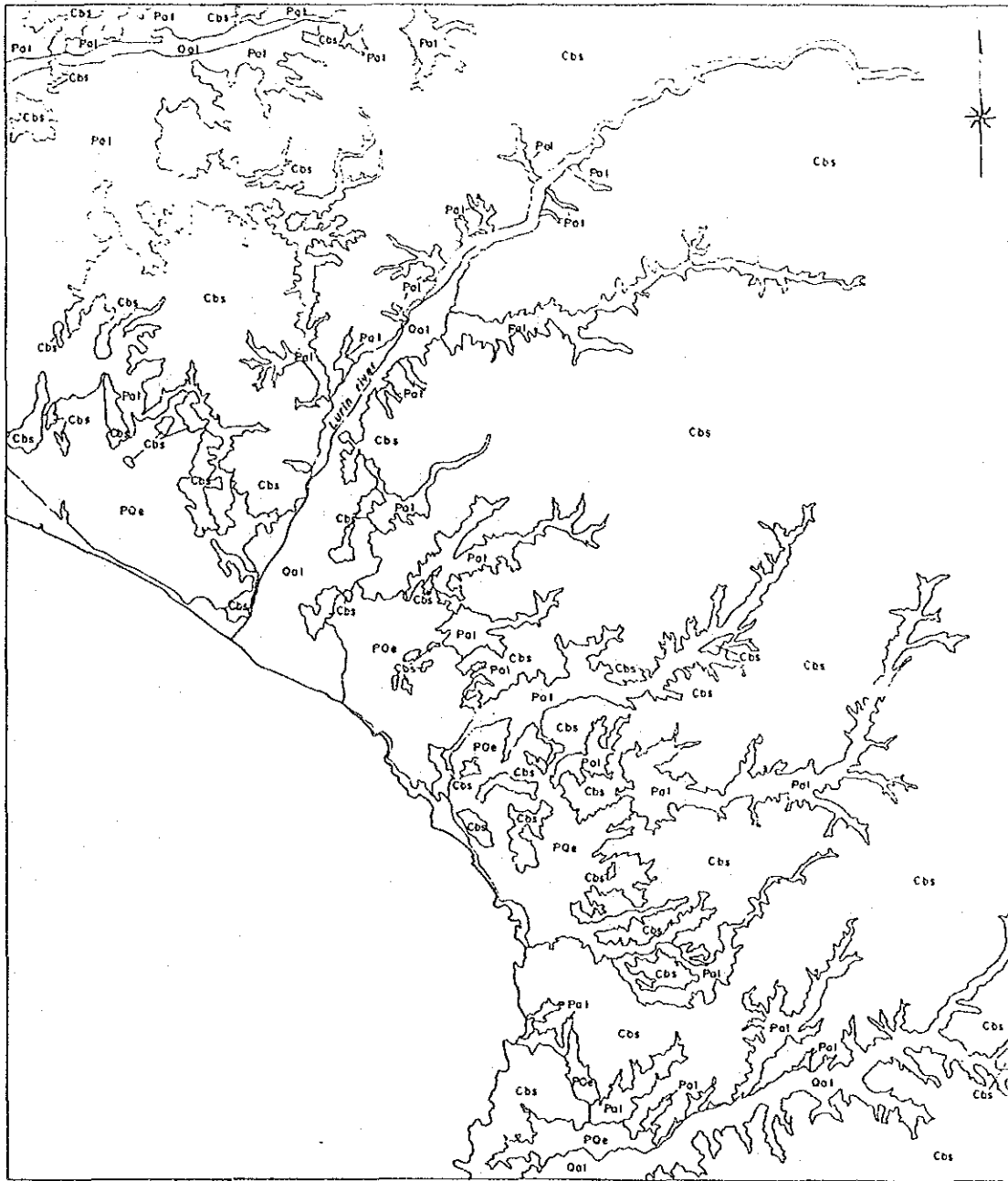


図4-3 ルリン川流域の地質





### (3) 気象

リマ市およびリマ市周辺地域の気象状況を表4-1 に、チジョン川、リマック川、ルリン川の各河川の気象観測所を、標高の順に添付表4-1に示す(ONERN, 1975)。この添付表4-1には各観測所の標高のほか気温、降雨量が記載されている。これとは別に、SENAPA(SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA)の公式記録である月別最高・最低・平均気温、月間降雨量・24時間最高降雨量および頻度、月間蒸発量、月別19時間平均湿度を添付表4-2～4に示す。これらの記録は調査地域外の定点の観測値である。さらに各河川の流域および気象・水文観測所の位置を添付図4-14～17に、数少ない蒸発散量のデータのうちリマック川の下流に関するものを添付表4-5に示す。河川上流については、蒸発量のデータが添付表4-2～4に盛り込まれている。

表4-1 リマ市およびリマ市周辺地域の気象状況

月	項目	平均最高気温 (°C)	平均最低気温 (°C)	平均気温 (°C)	平均湿度 (%)	日照時間 (hours)	降水量 (mm)
1		26.8	18.5	22.0	82.4	221.2	3.2
2		28.0	18.6	23.0	81.4	192.2	0.6
3		27.5	18.7	22.5	82.1	217.0	0.7
4		25.7	17.2	21.0	83.1	227.4	0.4
5		22.7	15.7	18.7	84.7	154.3	1.0
6		20.3	15.0	17.2	87.0	65.7	3.2
7		19.7	14.2	16.4	86.5	46.9	3.5
8		19.2	13.9	16.0	87.4	43.6	6.9
9		19.7	13.9	16.0	87.3	46.6	6.1
10		21.2	14.5	16.1	84.6	87.9	1.9
11		22.9	15.8	18.4	82.3	120.2	1.6
12		25.0	17.1	20.4	81.5	175.0	1.6

添付表4-1からは、気温は低地(18°C～19°C)から高地になるに従って低くなり(5°C)、降雨量が標高6,500mまでは高所に向けて高くなり(10mm→1,020mm)、それよりさらに高所ではむしろ減少する傾向が見られる(687mm)。しかしペルー共和国では積雪時の測定を行っていないという報告があり、高所での降雨量の減少についてはチェックの必要がある。

河川の年間の総流量と表流水の総利用の状況を、チジョン川、リマック川について添付図4-18、図4-19に示し(ASCOSESA, 1977)、添付表4-6に河川流域別の農業用水の必要量を1978年時の取水量と西暦2000年の予想量について示す。

#### 4-3 水資源利用の実態

SEDAPAL は 4-1項に述べたリマ市およびリマ市周辺地区へ、表流水および地下水を供給している。これらの水源のうち、表流水はリマ市北部を西流するリマック川から取水し、アタルヘア浄水場で処理後配管により給水している(図3-2)。この給水網には、途中ボーリングによる井戸の地下水が各所で取り込まれる。給水網はリマ市を中心に 3-2項(4), 1), bに述べる地区に布設され、リマ市周辺地域ではボーリング井戸からの地下水を、給水塔にポンプ送水し、給水している。

給水方法は、主にリマ市街地で各戸給水、周辺地域で各戸給水あるいは集落給水の方法が取られ、さらに給水施設の無い地区にはタンクローリーによる給水が行われている。給水車による給水は民間の約 200台の給水車でも行われる。

1978年のリマ市およびリマ市周辺の水資源の利用の状況を、表流水を含めて、表4-2に示す(SEDAPAL<B&P, 1987>)。この表中の数字は 3-2項(4)で述べた数字と若干相違があるが、調査地域の水の利用状況をよく表わしている。上記の数字の違いは、3-2項(4)で述べた数字が、1991年 1月現在の、SEDAPAL の資料によるためである。また、表4-2 の、リマック川からの生活用水利用量(\*a印)は、添付表3-3 中に記載された数値と一致していない。これは集計年度あるいは集計期間の違いによるものと思われる。

リマ市およびリマ市周辺では、地下水の過剰揚水のため、地下水面の低下が問題視されている。B&P(1987)による試算では、リマ市およびリマ市周辺の地下水のかん養量は  $12.98 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、揚水およびその他による流出量は  $14.16 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、従って  $1.18 \text{ m}^3/\text{sec}$ のかん養量不足となっているものの、流出量の中には海への地下水の流失  $3.84 \text{ m}^3/\text{sec}$  が含まれている。この海への流失地下水量は、帯水層の構造を把握し、的確な位置にボーリング孔を掘削することにより、海へ流失する以前に採水できる地下水の量である。従って、地下構造を把握し、適切な位置にボーリング孔を掘削すれば、 $3.84 - 1.18 = 2.66 \text{ m}^3/\text{sec}$  の地下水を水収支をマイナスにすることなく採水できることになる。しかし、これについての詳細な調査は行われていない。類似のデータが添付図4-18 ~ 19(ASCOSESA)にも示されている。

表4-2 リマ市およびリマ市周辺地域の水資源の利用の状況

	人口 百万人	水資源		送水中の増減 m <sup>3</sup> /s	合計 m <sup>3</sup> /s
		河川 地下水			
		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
生活用水	4.37	9.40	7.79	-0.42	16.77
工業用水			1.80	+0.42	2.22
合計	4.37	*a9.40	9.59	0.00	18.99
農業用水		3.55	*b 2.15		5.70
フィヨン川流域		7.80			7.80
リマック川流域		1.50	*b 0.70		2.20
合計		12.85	*b 2.85		15.70
流域別		3.55			
フィヨン川流域		17.20	*c11.45		
リマック川流域		1.50	*b 0.70		
上記流域外			*d 0.29		
合計		22.25	*a12.44		

(SEDAPAL<B&P, 1987>)

出典の違いにより、3-2項、給水状況の項の記載と若干数字が異なる。

- \*a: リマック川流域
- \*b: 湧泉を含む
- \*c: フィヨン川, リマック川流域の帯水層  
(9.59 + 2.15 - 0.29 = 11.45)
- \*d: フィヨン川, リマック川流域外

#### 4-4 既往の地下水調査

リマ市周辺の本格的地下水調査は、1960年代に 3人のペルー人技術者によって行われ、ついでペルー共和国の ESAL(la Empresa de Saneamiento de Lima, Peru)とアメリカのコンサルタント ES(ENGINEERING-SCIENCE)の契約調査により、メトロポリタンリマの給排水マスタープランを策定している。これは世界銀行のペルー共和国への借款によるものである。ESはこの報告書でアタルヘア浄水場のプラントの計算、同浄水場の集水埋きょからの人工かん養などについて報告している(ESAL, 1981, vol.3-B)。

イギリスのコンサルタント BINNIE & PARTNERS (B&P)は 1965年にリマ市の水資源に関する問題点、特に水資源の枯渇について指摘しその対策を提案している。その後 1970年に同コンサルタントによりリマ市の東方を含む詳細調査の報告がなされ、1972年、1976年には発電関係のプロジェクトとして類似の地域が他のコンサルタントにより調査され報告がなされている。1976年には B & P は先の調査をさらに進め、水資源の枯渇に対する、リマ市への水の供給対策と問題点について報告している。1981年に提出された、西暦 2000年に向けたリマ市の水の需要増大に関する試算と、対策を目的とした調査の、フェーズ I・ファイナルレポートでは、B&P は水資源枯渇に対する根本的な問題解決策として、アンデスの地溝帯を南流してアマゾン川の上流、アブリマク川に合流するマンタロー川の水を、運河とトンネルによってアンデス西側に引き込むマンタロー計画を提唱している。

さらに新規のプロジェクトとして 1985年から 1986年にかけて、B&P によりマンタロー計画 (exploitation)が確実なものとなるまでの、応急対策を考じた水資源評価の調査(study)が行われている(SEDAPAL, 1987, final report)。その内容は 1987年の本報告書に先だって分冊の形で、1986年に SEDAPAL と連名の、複数の中間報告書(inform específico, No.1 - 10)として逐次提出されている。この報告書は、次のような 3種類の水資源の開発プランを提案している。

- a) 表流水と地下水の併用 (開始目標, 1990年)
- b) 人工かん養 (開始目標, 1993年)
- c) マンタロー計画の第一段階; 5 m<sup>3</sup>/sec (開始目標, 1992年)  
マンタロー計画の第二段階; 15 m<sup>3</sup>/sec (開始目標, 1997年)

1986年に開催された 地下水の評価と管理に関するセミナーでは、これらの内容が盛り込まれている(BGS etc., 1986)。

以上の報告をうけて、SEDAPAL は国際入札(N°18-82)による 18本のボーリングを行い、それらのうち 3本は深層ボーリングとして、188m, 233m, 246mの掘削を行っている。これらの18本の井戸のうち、リマック川の右岸の 8本(No.401, 404, 407, 408, 413, 414, 416, 417)に関するデータを巻末に添付する(添付図4- 1 ~ 8)。

そのほか上記の地下水調査との関連性が明確ではないが、3-3項に述べた イギリス(ES)の指導による 5本の深井戸(No.423,424,428,467,469, 深度 223 ~ 338m, 添付図4-9 ~ 13)のデータを巻末に示す。

現在リマック川河岸に沿って、SEDAPAL の第 1期プログラムであるアルゼンチンからの借款による 51本の浅層ボーリング掘削工事が行われており(3-3項, 添付図3-7), イタリアからの借款による 16本のボーリングも予定されている。

#### 4-5 地下水開発の現状と問題点

##### (1) チジョン川, リマック川およびルリン川流域の帯水層

リマ市で地下水取水の対象となる帯水層は, チジョン川, リマック川およびルリン川下の流部に発達する扇状地堆積層中に形成されている。チジョン川およびリマック川の扇状地は, 海岸部で両者が合併して全体で 400km<sup>2</sup>にも及ぶ複合扇状地をなしている。この第四紀更新世の扇状地堆積物は, 中世代ジュラ紀, 白亜紀層や第三紀ないし第四紀の貫入岩などからなる基盤岩層を直接覆って堆積している。これまでに行われた物理探査の結果では, この複合扇状地の堆積物の最大の厚さは, ラベルラ付近で約 550mと見積られている。一方ルリン川海岸部に形成された扇状地の広さは, 概ねチジョン・リマック複合扇状地の 1/10 程度で, その堆積物の最大の厚さは約 350mである。

チジョン・リマック複合扇状地堆積物の上部約 100mは, 海岸部の海蝕崖にも見られるとおり細粒分の少ない礫層からなる。深度 100m以深では次第に細粒分が多くなり, 透水性が悪くなる傾向が見られる。しかしこれまでの井戸の深部探査深度は, 概ね 250m(最大 338m)程度であり, 特に深度 250mより深い帯水層の正確で定量的な情報が欠けている。一方ルリン川扇状地堆積物の上部 40 ~ 50mは, 粗い砂と礫の地層からなり, それより下位では細粒分が多くなり, 透水性が悪くなる傾向があるが, チジョン・リマック複合扇状地堆積物の場合と同様に, 正確な情報が不足している。

チジョン川, リマック川両流域の帯水層の地下水位は, 1970年初頭ではチジョン川流域で 0-20m, リマック川流域で 25 ~ 75mであったが, その後地下水の取水が増加するに従い, 広域的な地下水位の低下の傾向が見られる(図4-5)。

またルリン川下流の扇状地の地下水位は海岸部で深度 数10m, 内陸部で 20 ~ 30m程度である。チジョン川, リマック川, ルリン川の各扇状地共に, 広域な被圧帯水層は確認されておらず, 地表部から基盤岩層との境界までは単一の帯水層と見なされているが, これを明確に示す資料は無い。

## (2) 地下水開発の現状

SEDAPAL が現在保有している井戸の総数は 387本で、このうち 253本を稼働しており、残りの 134本の井戸のほとんどは放棄されたものである。253本のうち 106本は、アタルヘア給水システムに組み込まれて配水されており、残りの 147本はアタルヘア・システム外にあり、それぞれの地域で独立した配水システムにより給水を行っている。図4-6 に 1960 ~ 1985 年の SEDAPAL による地下水生産量の推移を示す (1973年以降生産量が大幅に増加しているが、これは多くの民間井が SEDAPALの管理下に移ったためである)。

この他にアルゼンチンからの借款による51本の新規の井戸 (48本が完成)、イタリアの協力による16本の井戸、さらに民間の開発業者による91本の新規の井戸開発 (1985年現在58本完成) が進められ、一部稼働している。この民間井は SEDAPALの管理下に置かれる予定である。

また一方では工業用あるいは灌漑用にかなりの数の井戸や掘抜き井戸があるが、その実態は明らかではない。

SEDAPALの運転中の井戸により、平均  $6 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量  $518,000 \text{ m}^3$ ) の地下水が揚水されている。その海域毎の内訳はチジョン川で34%、リマック川で64%、ルリン川で2%となっている。また民間の井戸により、平均  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  (日量約  $260,000 \text{ m}^3$ ) が3流域から取水されていると見積られている。このようにリマック川流域では井戸の開発がかなり進んでおり、井戸の揚水量が地下水のかん養をかなり上回り、その結果が広域にわたる地下水位の低下現象として現れていると言われている。一方チジョン川およびルリン川流域では地下水位の低下は、一部の地域に限られており、開発の余地が残されているものと推定される。

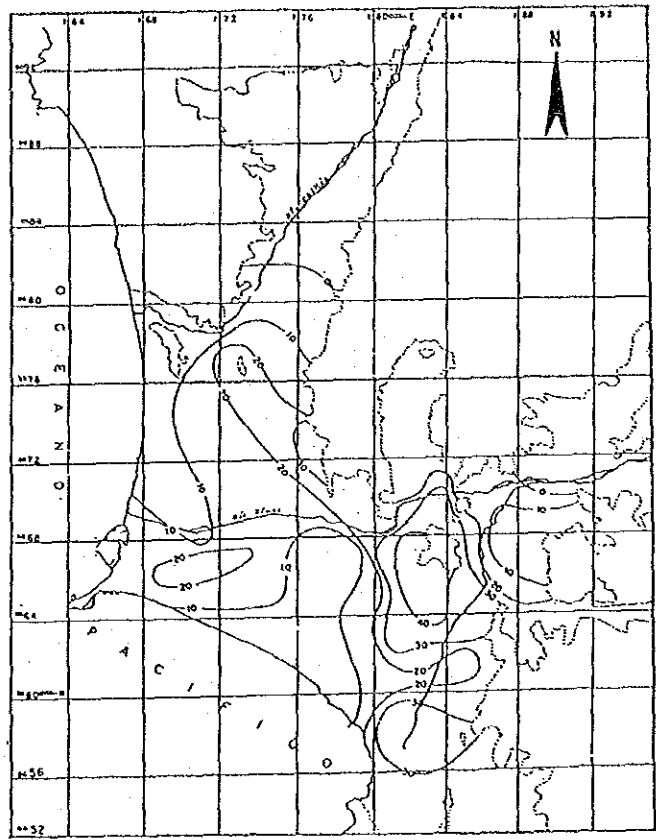
## (3) 地下水開発の問題点

リマ首都圏における91年1月現在の飲料水の需要は、約  $24 \text{ m}^3/\text{sec}$  (表3-2)と見積られている。一方アタルヘア浄水場の最大可能取水量は  $20 \sim 21 \text{ m}^3/\text{sec}$  であり (1991年1月における実際の供給量は  $14 \text{ m}^3/\text{sec}$  であった)、最も条件のよい時期においても  $3 \text{ m}^3/\text{sec}$  が不足している計算となる (アルゼンチン、イタリアの協力による合計67本の新規井戸掘削によりこの不足分はカバーされることになる)。また著しい人口増加により今後毎年  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$  以上の新たな不足分が生じるものと予想されている。

上述の不足分をカバーするための取水方法としては、

- a) リマック川の雨期の余剰水の取水、
- b) 新規井戸掘削による地下水取水、
- c) マンタロー計画の大規模な河川の分水計画

などが考えられている。c)案は既に1960年代から提案されてきた計画であるがコストの面から実現の目処はたっていない。a)案は雨期に生じる約  $5 \text{ m}^3/\text{sec}$  の余剰水の取水計画であるが、上流部でのダム建設、アタルヘアの取水施設・浄化施設の拡張をしなければならず、大きな投資が必要となる。従って現在のリマ市の水需要を満たすためには、新規の井戸を掘削するのが、現状

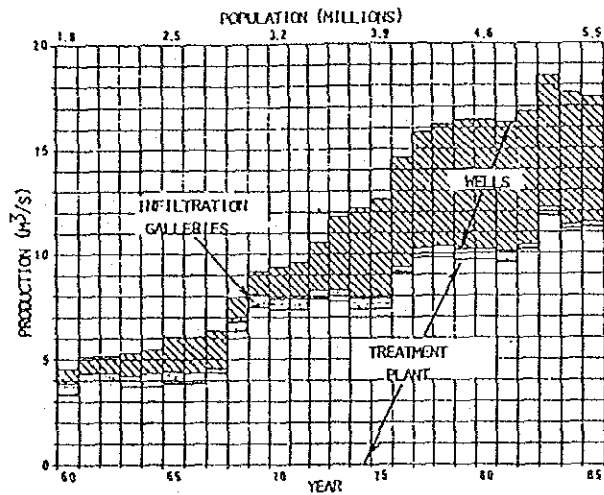


KEY  
 — 10— Contour of Water Level Decline (m)  
 ..... Limit of Aquifer

WATER LEVEL DECLINE 1969-1985

SEDAPAL <B&P, 1987>

図4-5 チジョン川, ルリン川流域の地下水位低下の状況



PRODUCTION OF WATER BY SEDAPAL 1960 - 1985

SEDAPAL <B&P, 1987>

図4-6 SEDAPAL による地下水生産量の推移

では最も投資効果の高い方法である。SEDAPALは1985年以降多くの井戸を新設し、供給量を増やしてきたが、一方では、地下水位の低下により多くの既存井戸の揚水量が低下し、一部では完全に枯渇している。地下水位の広域的な低下によって、既存井戸のスクリーンの有効長が減少し、スクリーンの目詰まり、揚程の増加、産出量の低下により、ポンプの運転効率が落ちている。このため効率よく多量の地下水の取水を行うためには、既存井戸の脇により深い新しい井戸を掘削しなければならない。しかし深度100m以深では、帯水層に細粒部が多くなり透水性が悪くなる傾向がこれまでの調査により指摘されていることから、より詳細で定量的な調査が今後必要となる。

また海岸部では海水の浸入による地下水の塩水化現象も、チジョン川流域のカジャオ付近や、ルリン川流域の海岸部で発生している。このような地域では今後地下水の取水量を減少させこそすれ、新たな開発は控えるべきであろう。



## 第5章 本格調査の概要

### 5-1 調査の基本方針

リマ市は南北に縦走するアンデス山脈の西側、北はエクアドル、南はチリまで約 2,000Kmにおよぶ帯状をなす海岸地帯に位置する。この海岸地帯は河川の流域を除きすべて砂漠である。フンボルト寒流の影響によって気温は 1年を通じ最低 11度から最高 30度と比較的温暖であるが、雨量はほとんど無く、僅か冬期（5～10月）にガルúaと呼ばれる霧雨が主として朝晩に降る程度である。山岳地帯は 3,000～5,000 mにも達し、降雨も相当な量にのぼるが、そのほとんどはアマゾン河に流下し海岸地帯にはごく僅かしか流下しない。

リマ市にはリマック川、チヨン川、ルリン川の 3河川が流下しているがその流量は限られており、水はまさしくリマ市にとって貴重である。リマ市の中央を流れるリマック川からは、なお 3～5 m<sup>3</sup>/sec の表流水利用の可能性が残されているものの、北部を流下するチジョン川および南部を流下するルリン川からの表流水の利用はほとんど期待できず、この両河川流域では、生活用水をもっぱら地下水に頼らざるを得ない。

上記の状況から、水の利用については各種、各国の調査が実施されており、特に 1987年に終了した英国コンサルタント会社「BINNIE&PARTNERS」(UNDP/世銀協力)が実施した調査は長期かつ大規模なものであり大いに参考となるが、チジョン川流域の地下水（特に深部）の賦存量などについての数値は推測値であり、ルリン川流域の地下水については十分な調査がなされていない。

このことから、本件調査に対して SEDAPALからなされた要請、すなわち“チジョン川流域およびルリン川流域の地下水賦存量の確実なる把握”は充分意義があるものであり、言い換えれば本件調査は、上記両流域の地下水賦存量の把握に最重点を置くべきである。

リマ市の人口増加は、経済の低迷と治安の悪化が原因となり、地方からの人口の流入が激しく、特に近年激増している。西暦 2000年の人口予測の数字として 8,300,000～11,400,000人という数字があげられているが、最小の 8,300,000人を取っても、現在の人口より 1,950,000人増となり、前述の 3河川からの取水だけでは絶対水量の不足が予想され、また現在のペルー国の経済状況から、他流域からの導水が当面困難であるとすれば、本件調査では“水の供給可能量”に主眼を置いた給水計画を立案せざるを得ない。

この意味において、地下水賦存量の確実な把握は、リマ市およびリマ市周辺地域の生活用水開発上、極めて重要である。

本件調査の給水計画を立てるうえで、重要な視点として、次の点があげられる。

リマ市およびリマ市周辺地域の市街地拡大の特徴は、この地域が無降雨地帯で、かつ砂漠地帯であるため、ヨシやムシロで 4方を囲めば、屋根が無くても住居化することである。このため、

都市開発計画とは全く関係なく居住地が発生し、一時的には不法占居であっても、それが既成化してしまう。この現象は本件調査対象地域のいたる所に見受けられた。すなわち、地域、地区別人口予測は極めて困難であり、精緻な給水計画の立案をしてもあまり意味をもたないことが予測される。また設定使用水量についても、現在 130 l/人/日 ~ 480 l/人/日まで大幅に異なっており、地域、地区の居住地の成熟度、経済的（生活レベル）発展度によって使用水量が大幅に異なってくることも給水計画の立案を一層困難にしている。

以上のことから本件調査の給水計画立案では、事前調査以前の方針、Comprehensive Planからフレームワークプランに止めることとし、西暦2001年を目標に、フレームワークプランを策定し、同フレームワークプランを考慮しつつ、且つペルー国の経済、実施機関の実施能力を充分考慮の上、段階的实施計画を策定し、その内最も緊急度、優先度が高く、しかも効果の高い計画を第一次実施計画として採り上げ、リマ市周辺地域住民の生活用水改善に、より具体的に貢献できる計画とすることが重要である。

## 5-2 目的

ペルー国政府の要請に基づき、同国の SEDAPAL(リマ上下水道公社)が実施する地下水開発に協力することにより、チジョン川流域およびルリン川流域地域住民の生活、衛生状況の改善に資するために次の項目を実施し計画を策定する。併せて、調査を通じ、カウンターパートに技術移転を行う。

### (1) チジョン川流域およびルリン川流域における地下水賦存量調査

リマ市およびリマ市周辺地域の人口の急激な増加に伴い、生活用水の需要量も急激に増大しているが、同地域を流れる河川からの大量の取水は期待されず、地下水利用の比重が高まりつつある。一方、リマ市およびリマ市周辺地域の既存のボーリング井戸の大多数は深度、150 m程度以下で仕上げられているが、最近地下水位が最大地下 70m程度にまで低下する地区が出現し、このため井戸のスクリーンが有効に機能しておらず、地上ポンプの効率も低下するなど、人口の増加による水需要の増大に反して、生活用水供給への対処が立ち遅れている。

このため、本件調査では、現在までリマ市およびリマ市周辺地域で対象にされてきた帯水層深度以下の帯水層を主な調査対象として、チジョン川流域およびルリン川流域の帯水層の上部および下部（浅部および深部）の地下水賦存量を把握する。

### (2) チジョン川流域およびルリン川流域の地下水モニタリング・システムの確立

SEDAPAL が現在保有しているボーリング井戸の総数は1985年現在 387本で、このうち 253本が稼働し、このほか農業用水のためのボーリング井戸、民間のボーリング井戸などが稼働している。

SEDAPAL はこれらの井戸のうち、42本を水位観測網として設定し、連続的あるいは定期的に記録している。しかしこれらの観測井戸は本件調査地域には僅かしか位置していないため、本件調査で、調査地域内の地下水流動機構を論理的かつ定量的に把握し、将来の地下水開発、地下水利用などを含めた地下水管理の基礎資料とするため、将来に向けた地下水モニタリング・システムを確立する。

(3) 地下水開発優先地区の、地下水開発可能量調査および地下水開発計画策定、地下水開発計画のフレームワークの策定

リマ市周辺地域では人口の急増による宅地化が進み、飲料水不足が深刻である。ペルー国あるいはリマ市による宅地化の基本方針はあるものの、人口の増加は必ずしも基本方針どおりの地区に進んでおらず、そのため、緊急を要する給水対象地区がランク付けされていない。従って本件調査では調査対象地域の地下水流動機構を詳細に把握し、さらに給水対象地区にて地下水開発計画のフレームワークを策定し、併せて優先給水地区を選定し地下水開発計画を策定する。

5-3 調査対象地域およびその範囲

チジョン川流域およびルリン川流域を調査対象地域とし、地下水賦存量調査地域と給水計画検討地域の一部を区別し、それぞれの範囲を次のとおりとする(巻頭、調査対象地域図、表5-1)。

表 5-1 本格調査対象地域の面積

地 域	地下水賦存量調査地域 (km <sup>2</sup> )	給水計画検討地域(km <sup>2</sup> )
チジョン川流域	199	281
ルリン川流域	93	123
合 計	292	404

#### 5-4 調査項目および内容

調査の基本方針に従って立案した本格調査のフローを図5-1 に示す。

本件調査は、その目的および調査内容が多岐にわたる為、調査効率の観点から、本格調査の内容を、基礎調査、詳細調査、解析・検討・開発計画策定の3段階に分けて考える。しかし、このことは本件調査を3期に区分して実施することを意味しない。

##### 5-4-1 第1段階：基礎調査

SEDAPAL の水道計画全体を把握し、その中で地下水事業の現在および将来の位置付けを明確にするとともに、既往地下水調査のレビューにより、チジョン川流域、および、ルリン川流域の調査全体の位置付けを行う。

主として、以下の項目について調査を行う。

- (1) 関連資料・情報の収集・整理
- (2) 既往地下水調査のレビュー
- (3) 井戸台帳作成
- (4) 地表地質踏査
- (5) 地下水利用実態調査
- (6) 現地状況の把握（組織・運営体制のレビュー、既存水道システムのレビュー、都市開発計画のレビュー、地元さく井業者の実態調査等の基礎的な調査）
- (7) データベース様式確立の準備

調査内容は次のとおりとする。

##### (1) 関連資料・情報の収集・整理

事前調査団が収拾した資料あるいは確認した資料を、添付資料5～8に示す。

これらの資料に加え、必要とされる追加資料を収集し、整理する。

##### (2) 既往地下水調査のレビュー

既往地下水調査のうち、特に次のものについて、詳細な報告書のレビューを行う。

###### a. Ministerio de Vivienda y Construcción(1981, B&P);

Final Study of The Transfer of Water from The Upper Catchment of The River Mantaro to Lima, (First Stage ), Final Report, volume 1, Main Report

###### b. Ministry of Housing and Construction(1987, SEDAPAL/B&P);

Management of The Aquifer Resources of Metropolitan Lima,

## Final Report

### (3) 井戸台帳作成

調査団の監督・指導のもとに、SEDAPAL のカウンターパートにより、井戸台帳の作成を行う。作成に当たっては、次の点について留意することとする。

- 1) 井戸台帳を、地下水益管理モニタリングに用いるデータベースとする。
- 2) 井戸台帳には、SEDAPALの井戸をはじめ、対象地域に多数存在する農業省管理の井戸や他機関の井戸の資料および民間の井戸の資料を含めて、別途行う地下水利用実態調査の結果を加え、全体の地下水揚水量が把握できるようにする。

### (4) 地表地質踏査

既存資料収集・整理と並行して、補足調査を行い、水理地質図を作成する。調査は当事業団とペルー共和国との間で現在進行中の「リマ首都圏都市基本図作成調査」で作成される、縮尺 1/10,000 の地形図で行い、調査の結果は縮尺 1/50,000 (流域別) および 1/100,000 (全体) の水理地質予察図としてまとめることとする。具体的には調査は次のように行う。

- 1) 踏査に先立ち、空中写真の判読を行い、地表踏査の結果を加えて、地形区分および地質区分を行って、調査対象地域における水文環境および水理地質構造を把握する。空中写真判読には、前述の「リマ首都圏都市基本図作成調査」で撮影された縮尺約 1/30,000 の白黒写真(231枚中の 82枚)を使用する。
- 2) 詳細調査において実施する物理探査の実施地区を選定し、試掘候補地点を選定する。
- 3) 地表地質踏査の結果は、井戸台帳の内容や既存の地質柱状図等とともに解析を加え、調査対象地域の帯水層区分の基礎資料とし、その結果を水理地質予察図にとりまとめる。同図には地質状況のほか、地下水面、水質、湧泉など水文状況を盛り込み、調査地域の水理地質構造が把握できるようにする。

### (5) 地下水利用実態調査

SEDAPAL との共同作業により、地下水利用実態調査表を作成する。この調査表は、井戸台帳作成を念頭に置いたものとし、調査団の指導によるアンケート調査方式で行う。

調査項目には少なくとも次の内容を含むものとする。

- a. 用途別地下水利用量
- b. 季節別地下水利用量
- c. ポンプ種別、性能、稼働時間
- d. 電力使用量
- e. 従業員数
- f. 業種、経営規模、主要製品および生産高あるいは売上高

### (6) 現地状況の把握(組織・運営体制のレビュー、既存水道システムのレビュー、都市開発計画のレビュー、地元さく井業者の実態調査等の基礎的な調査)

#### 1) 組織・運営体制のレビュー

SEDAPAL の地下水事業に係わる組織・運営体制について、次のような点に留意して調査を行う。

- a SEDAPAL の地下水給水施設の建設、運営、維持、管理について、それぞれの業務に関係する各部局の役割、具体的な活動、実績について調査する。この調査は SEDAPAL との協議およびアンケート調査を通じて行う。
- b 地域によって、自治区、村単位で運営されている給水施設が有るものと思われるので、これらの建設、運営、維持、管理体制および SEDAPAL との関係について詳細にアンケートおよび聞き取り調査を行う。
- c SEDAPAL の組織、保有機材、人員、技術力、工法、給水施設建設基準等について明らかにする。

#### 2) 既存水道システムのレビュー

調査対象地域における既存水道システムの現況を把握する。

#### 3) 都市開発計画のレビュー

調査対象地域における都市開発計画を把握し、人口、社会経済環境等を整理し、給水計画のための基礎資料とする。

#### 4) 地元さく井業者の実態調査

地元さく井業者の機械力、技術力等を調査し、詳細調査で実施する試掘調査および付帯作業についての能力を確認する。

#### (7) データベース様式確立の準備

このデータベース様式確立の準備では、次のようなことを念頭に置いて作業を進める。

- 1) 将来のモニタリング計画を踏まえ、且つ現状に最も適した様式の検討を行う。
- 2) ボーリング孔の地質柱状図、物理検層図、揚水試験記録など、データベースに盛り込むデータの種類の調整および整理を行う。
- 3) 詳細調査で実施するシュミレーションと、その有効利用のための SEDAPAL 側の技術力と体制について検討を行う。

### 5-4-2 第2段階： 詳細調査

基礎調査の結果を踏まえ、第3段階で実施する解析・計画・開発計画策定のための補足データを収集する。

主として、以下の項目について調査を行う。

- (1) 物理探査
- (2) 試掘調査および付帯作業
- (3) 揚水試験



- (4) 地下水水位継続測定機器の設置と観測
- (5) 一斉測水調査
- (6) 河川流量調査
- (7) 水質分析
- (8) 地下水利用実態の詳細な調査
- (9) データベースデータの調整
- (10) 給水状況調査

調査内容は次のとおりとする。

(1) 物理探査

物理探査の手法は、垂直探査法（比抵抗）とする。

チジョン川の右岸には、地下 250 ～ 300m 深度付近に NE-SW 系の基盤岩の埋没谷が形成されていると思われる。この谷は更新世の砂礫層で埋められ、その上を流れるチジョン川に沿って、現世の沖積層が分布している。チジョン川流域では、地下水は主に更新世の砂礫層を帯水層としているため、更新世の砂礫層の入れ物に相当する基盤の埋没谷の形状が、地下水探査上重要な地質構造である。埋没谷が単独に存在するか複数存在するかによって、地下水調査法や開発法が変わるので、物理探査の途中で埋没谷の形状が 1 つ確認できたとして、その段階で測線を延長することを止めてはならない。1 河川流域で少なくとも 2 測線は砂礫層堆積部を NW-SE 方向に横断する必要がある。

ルリン川流域も類似の地質構造を呈しており、埋没谷の深度は地下 150 ～ 200m 程度と推定される。しかしチジョン川流域の埋没谷を埋める地層が更新世の地層であるのに対して、ルリン川流域の埋没谷を埋める主要な地層は沖積層である。

これら埋没谷の構造を明確にするため、推定される NE-SW 系の埋没谷を横断する方向に測線を設定し、次のように物理探査を実施する(図5-2,5-3)。

調査方法： 垂直探査法（比抵抗）

測線方向： NW-SE

測線間隔： 1 ～ 2 km 程度

測点間隔： 200m, 一部 50m 程度

測点数： 250 x 2回 = 500点

探査深度： チジョン川流域 300m, ルリン川流域 200m

初期に粗い測線間隔あるいは測点間隔で概査的に埋没谷の形状を把握し、ついでそれらの間を埋める詳細な調査を行って試掘地点を決定するとともに、将来の地下水開発計画の指針とするために、埋没谷の伸長方向を明確にし、試掘調査後に明らかにされる帯水層の区分と地下構造の関係を明らかにする。



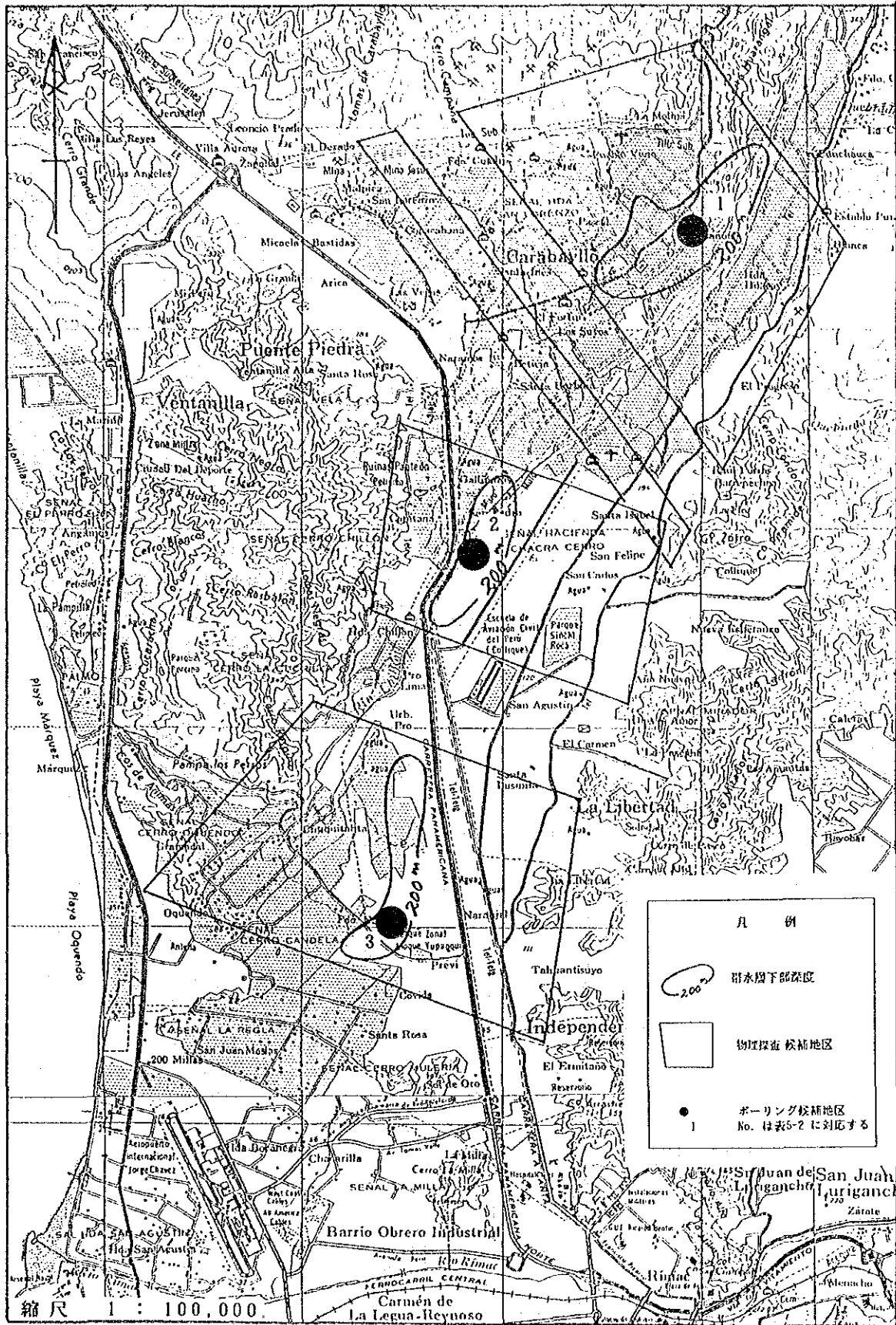


図5-2 物理探査, 調査井(揚水井, 観測井)掘削候補地区(チジョン川水系)

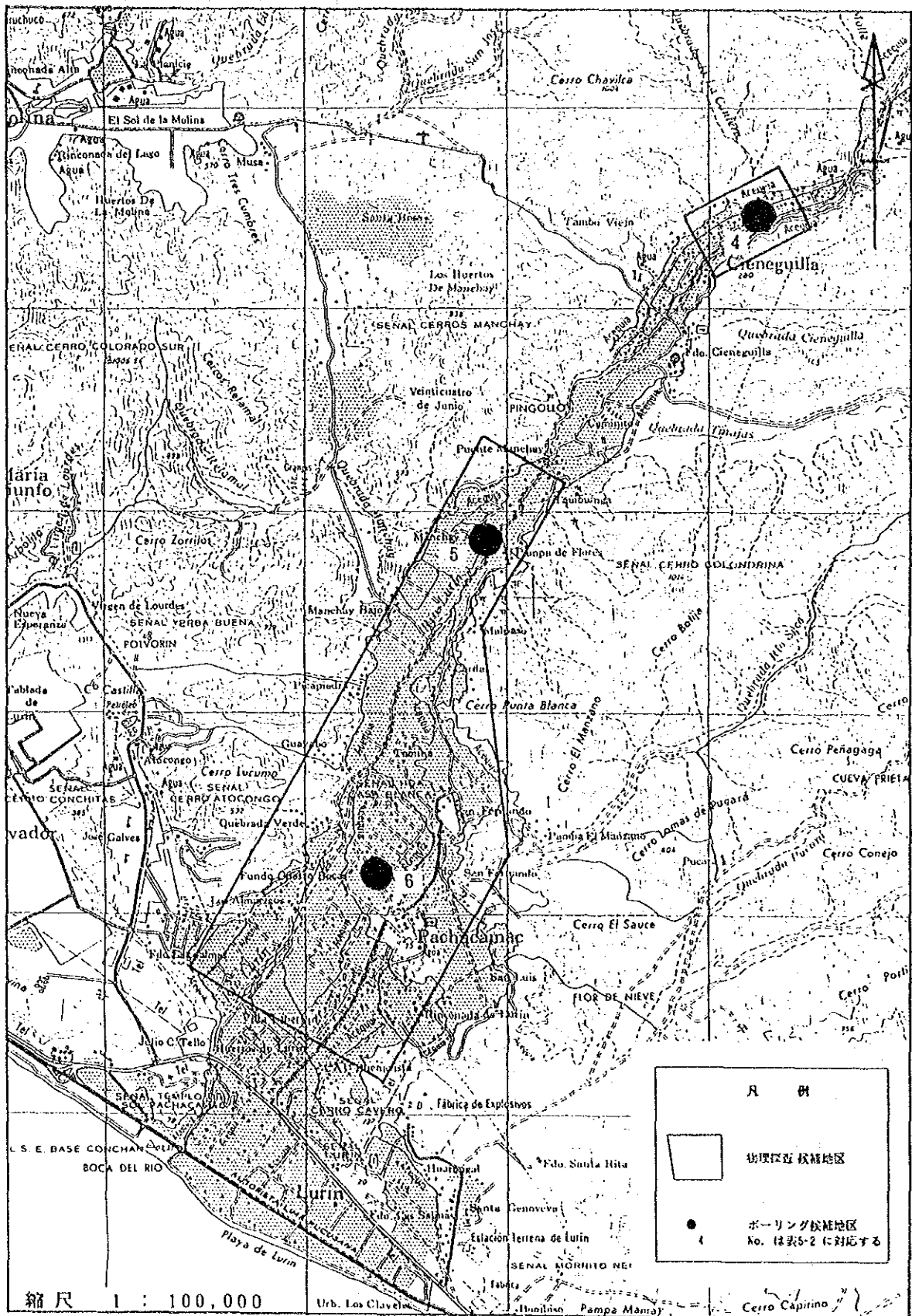


図5-3 物理探査，調査井（揚水井，観測井）掘削候補地区（ルリン川水系）

## (2) 試掘調査および付帯作業

### 1) 試掘調査

既存の井戸の大多数は深度、150 m程度で仕上げられているが、最近地下水位の低下により、それらの井戸のスクリーンが有効に機能せず、地上ポンプの効率も低下している。本件調査では、物理探査の結果選定される試掘地点において、チジョン川流域では主に深度150 mより深い部分の、ルリン川流域では100 mより深い部分の帯水層の状況を緊急に調査するとともに、当面の生活用水の確保を如何に行うか検討し、給水計画を策定するための試掘を行う。

調査井（揚水井、観測井）の掘削深度は、チジョン川流域およびルリン川流域で推定される埋没谷の地下深度程度に設定し、両河川流域でそれぞれ最長 250 m、150 m程度とする。調査の目的を達成するためには帯水層の区分、地下水の貯留量および揚水時の影響圏の範囲と影響の程度を正確に算出する必要があり、このために調査井として揚水井と水位観測井が必要である。両井の深度は、調査結果を正確に検討するため、揚水井、観測井ともに同深度とする。

掘削孔径は、揚水試験の目的が達せられ、水位継続調査に用いる観測機器の設置が可能な孔径以上とする。すなわち、リマ市およびリマ市周辺地域のボーリング井戸からの平均的揚水量は 20 ~ 50 l/sec 程度である。従って、本件調査で掘削する井戸からの揚水量を 30 l/sec 程度に設定する。この量の揚水を行うための水中ポンプの大きさで、井戸の仕上げ孔径が規制され、同孔径は 12" を必要とする。そのため掘削孔径を 17<sup>1/2</sup>" とする（表5-3 および 5-4）。

添付図4- 1.9 および 10 ~ 13 に示されたケーシングプログラムは、一見地下水を被圧水と考えたプログラムのように見受けられるが、同地下水が被圧水であるという確証が記載された資料を本事前調査団では確認していない。従って、上記プログラムが、ポンプ（地上ポンプの揚程）に制約されて決定された可能性を否定できない。本件調査では、この点、すなわち、深部の地下水が不圧水であるか被圧水であるか明らかにし、その結果によって適切なケーシングプログラムを策定することが目的の中に含まれる。このため、本件調査では後述の揚水試験のポンプを可能な限り下位に設置できるように、ケーシングプログラムを策定する。

揚水井と観測井の間隔は、予想される地下水が不圧水か被圧水かについての詳しい資料は無いが、この点によく注意し、揚水試験時の水位降下が良好に観測できるように配慮して決定する。

SEDAPAL が必要時に掘削作業を委託する複数の現地掘削業者は、深度 223 ~ 338mまでの掘削経験があり、物理検層、揚水試験を含めた報告書を SEDAPAL に提出しているので、本件調査の掘削作業、物理検層および揚水試験は、ペルー共和国のボーリング業者との契約施工とする。

試掘井の候補地区を図5-2および5-3、表5-2 に示し、ケーシングプログラム案を図5-4 および 5-5に示す。

調査孔から得られるスライムあるいはスラッジの観察は、垂直方向の地質の変化を知ることができ、調査孔掘削時の機械の振動や、掘削作業日誌の記録内容も地質の決定に有益であるので、これらの記録を残すように心がける。この結果は物理検層結果の解釈にも有益である。

表 5-2 試掘井一覧表（事前調査団案）

番号	流域名	村落名	備考
1 2 3	チジョン川流域	1. Hoda Huacoy 2. Escuela de Aviacion Civil del Peru 3. Parque Zonal Lloque Yupanqui	揚水井 Max.250m x 3本 = 750m 観測井 Max.250m x 3本 = 750m 合計 Max.250m x 6本 = 1,500m
4. 5. 6.	ルリン川流域	4. Cieneguilla 5. Pampa de Flores 6. Pachacamac	揚水井 Max.150m x 3本 = 450m 観測井 Max.150m x 3本 = 450m 合計 Max.150m x 6本 = 900m
	調査地域全域		合計 12本 2,400m

試掘井戸候補地選定の基準。

1. 対象地域全体の地下水賦存量が検討できるよう全域に配置すること。
2. ボーリング機材搬入のための道路があること。
3. 水理地質的に深部地下水が期待できる地区であること。
4. SEDAPALの給水計画村落への送水が可能な地区であること。

掘削孔径は表5-3のとおりとし、揚水井の掘削孔径の決定理由を表5-4に示す。

表 5-3 試掘井の掘削孔径

孔井	主掘削孔径	仕上がり内径
揚水井	17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	12"
観測井	8"	6"

表 5-4 揚水井の掘削孔径および仕上げ孔径の決定理由

作 業		目標設定から制限される事項
内 容	目標設定	
標準揚水量	リマ市標準	30 l/sec
設定揚水量	30 l/sec	水中ポンプに必要な井戸の孔径
井戸の仕上げ孔径	12" (内径)	掘削孔径
C/Sの最大外径部と 孔壁間の空隙	2" 程度	掘削孔径
掘削孔径	17"	-
帯水層調査深度	150 ~ 250 ㍓	-
揚水中の予想地下水面	150 ㍓程度	ポンプ揚程
ポンプ揚程	150 ㍓	-

## 2) 物理検層

揚水井、観測井とも、掘削終了後孔内を洗浄し、直ちに自然電位、見掛け比抵抗による物理検層を行い、その場で直ちに解析しその結果と、スライムあるいはスラッジから推定される地質とを比較、検討してスクリーン、ケーシングの設置深度を決定する。

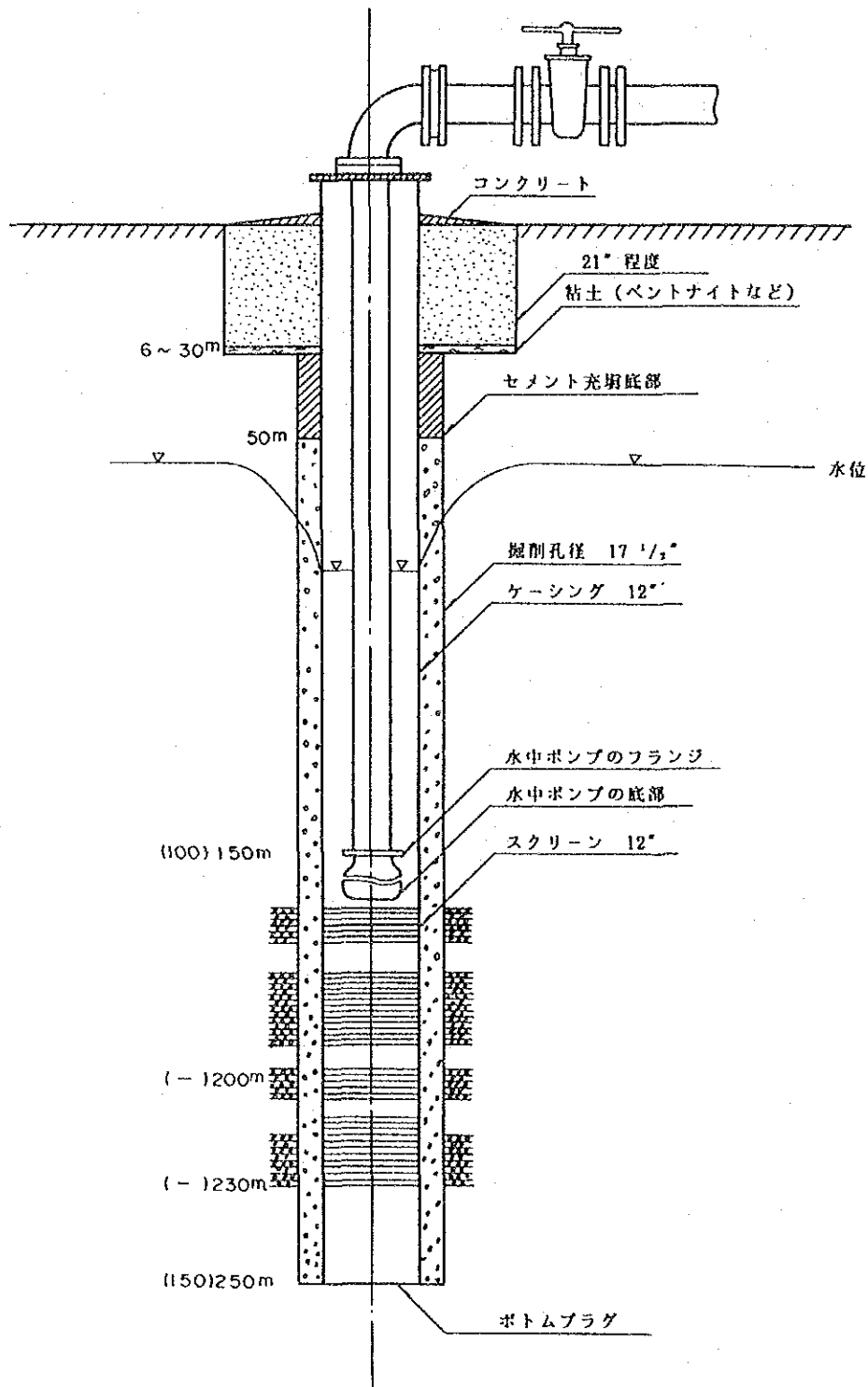
## 3) 井戸仕上げ； スクリーン、ケーシング (S/C) 挿入および孔内洗浄

物理検層によるスクリーン、ケーシング設置深度決定後はそれらを直ちに挿入し、孔壁とケーシングあるいはスクリーンの間隙に、地質状況に適応した適切なサイズの砂利充填を行う。スクリーンはリングあるいは巻き線タイプ、開孔率 20%以上、作業効率を向上させるためにはジョイント部はねじ込み式の方が好ましい。

観測井のスクリーン、ケーシングの材質は、揚水井と類似のものとする。スクリーンはリングあるいは巻き線タイプが理想的であるが、開孔率が10%以上であればそのタイプを限定しない。強度については観測井が一時的なものであることから、揚水井のものほど強度を必要としない。作業効率を向上させるためにはジョイント部はねじ込み式の方が好ましい。

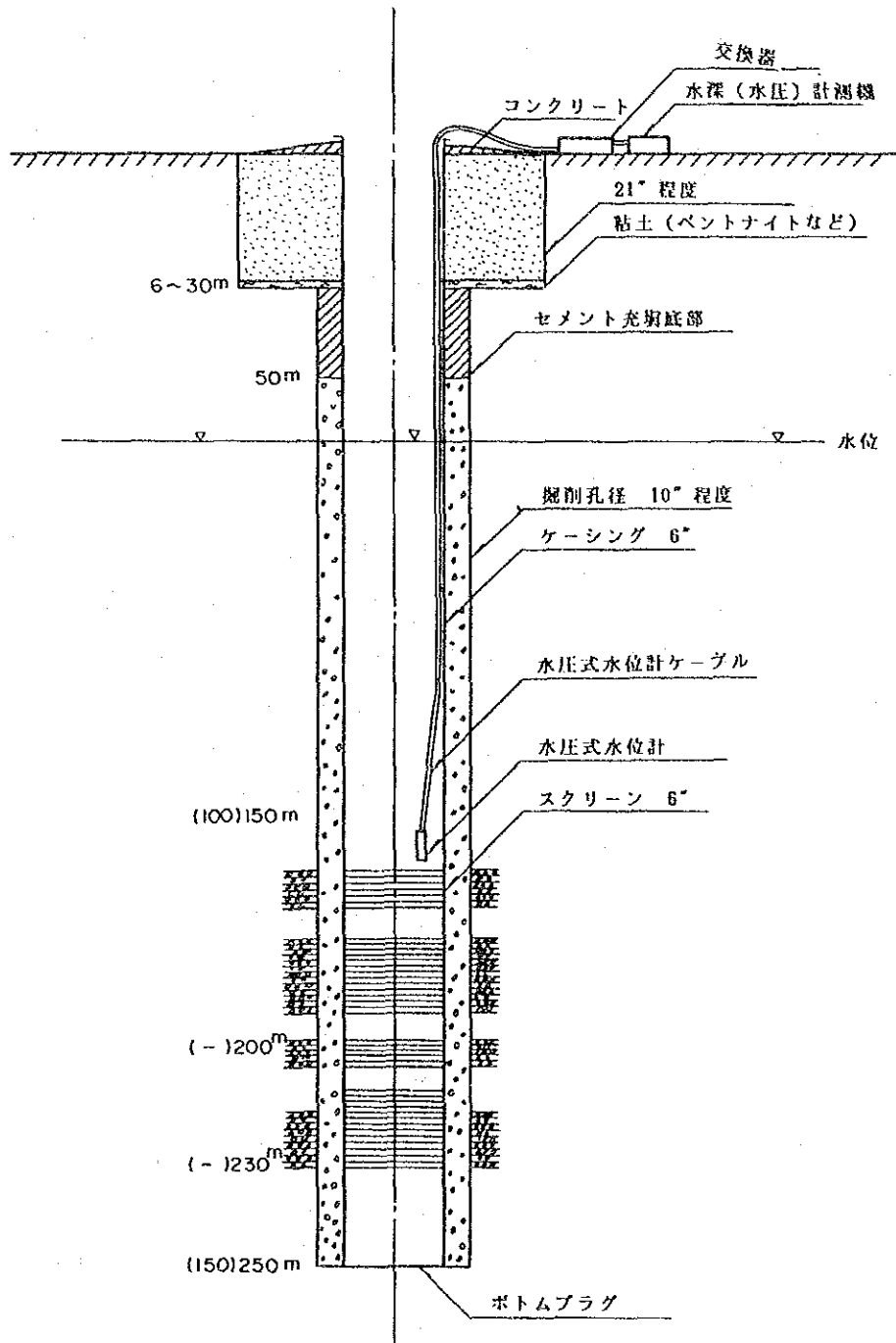
揚水井、観測井とも、スクリーン、ケーシング挿入後、清水で孔内を洗浄し、その後孔内の地下水を 10%程度の孔内洗浄剤溶液と置換し、12~24時間程度放置したあと、エアリフトによる洗浄を行う。この洗浄は汲み上げる水が清水になるまで続ける。

揚水井の掘削孔径および仕上げ孔径の決定理由を表5-4 にまとめる。



( ) の数字はルリン水系の深度予想

図5-4 ケーシングプログラム (揚水井)



( ) の数字はルリン水系の深度予想

図5-5 ケーシングプログラム (観測井)

### (3) 揚水試験

揚水試験は、段階揚水試験、連続揚水試験、回復試験の3種類とし、現場で記録表に記録するほか、グラフ化して試験が適正に行われているか確認する。

- 1) 段階揚水試験では、低い揚水量から高い揚水量へ、5段階以上揚水量を変化させ、水位降下の曲線の屈曲が生じたあと（いわゆる限界揚水量の確認）、次の段階の揚水量を下降させる。各段階の揚水時間は3時間以上とする。
- 2) 連続揚水試験は、段階揚水試験終了後水位が充分回復した状態で開始する。揚水量は段階揚水試験の結果から、水理定数算出に効果的に使用できる水位降下の曲線が得られると判断される適正な揚水量に設定し、連続揚水中の水位降下を24時間以上測定する。
- 3) 回復試験は、連続揚水試験終了後、ポンプ停止直後から、回復水位の測定を8時間以上行う。
- 4) 揚水中の水位測定は、本件調査で掘削するボーリング孔が長尺であり、しかも相当の水位降下が予想されるため、水圧式水位測定器とする。

以上の試験の測定時間の間隔は、測定記録のタイムレンジが対数目盛りであることに留意して設定する。この調査から、井戸1孔当たりの揚水量を決定することができるが、実際の生産井の揚水量は他の井戸との配置関係で、多少変化させる必要が生じる場合がある。この検討は後述の“解析・検討・開発計画”のシュミレーション解析結果を参考にして行う。

なお、動水勾配などを把握するため、試掘井の掘削地点は勿論、既存の井戸の口元標高を把握する。

さらに、連続揚水試験中に、試料を複数回採水し、河川流量調査の項で述べる水質分析を行う（分析数および成分は水質分析の項目を参照）。

### (4) 地下水水位継続測定機の設置と観測

本件調査の調査の初期段階で、既存の井戸のうち、周辺の水理地質的特徴を代表する井戸で、自記水位計設置可能なものを選択し、同記録計を設置して直ちに調査を開始し、1年間の記録をとり、地下水位の長期的変動を把握する。自記水位計は日本から携行する。この間の河川上流の降雨データと、周辺地区の地下水使用量のデータを可能な限り入手し、その解析結果と地下水位変動との関連性について考察する。

以上の結果は、水収支モデルの検討、シュミレーション解析およびモニタリング計画の策定に使用する。

### (5) 一斉測水調査

一斉測水調査に使用する井戸は、原則として SEDAPAL の井戸とするが、必要に応じて農業省の管理する井戸も含め、最終的には、Ministerio de Vivienda y Construcción (1981, SEDAPAL/B&P)や、SEDAPAL(1987, SEDAPAL/B&P)の報告書をレビューし、水理地質構造を考慮



して決定する。これらの井戸は、調査地域全域の地下水の賦存状況を把握できるように、測水井戸を選定し、全測水井戸の地下水位をできる限り短い時間の間に測定する。同時にポータブルな簡易水質測定器で、pH、水温、電気伝導度などについて測定する（水質分析の項目参照）。さらに、後述の水質分析用の試料は、試掘孔からのもの以外はこのとき同時に採取する。測水調査は周辺の地下水揚水中の影響をなるべく避けるため、できるだけ早朝に実施することが望ましい。

この調査は、カウンターパートの協力を得て、原則として雨期、雨期あけ、乾期、乾期あけに行い、雨期、乾期の時期と地下水の水位変動の時期の時間差を確認するとともに、地下水位等高線および等電気伝導度線図などを作成し、地下水の状況と水質の変化に注意する。

本調査に際しては、本件調査の初期の段階で、調査可能な井戸を抽出し、測定数日前までに測定準備を施しておく。短い時間に多数の井戸の測水を行うので、SEDAPAL のカウンターパートによる測定班を数班編成し、測定時間を各班の間で事前に打合せ、なるべく同時に測定が行われるよう配慮する。

#### (6) 河川流量調査

チジョン川、ルリン川および湧泉の流量測定を行うとともに、河川水からの農業のための取水の程度を把握する。それらの結果を既存資料のデータと併せて、各河川の水収支のチェックに使用する。この後の第3段階調査で、河川上流の、他の水文・気象データが必要な場合には、チジョン川、リマック川およびルリン川の、河川流量を含む比較的まとまったデータが、SENAMHI(Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrologia)に整理・保管されているのでこれを利用する。

#### (7) 水質分析

分析はポータブルな簡易測定器で行う方法と、試料を採取して分析室へ持ち帰って測定する方法で行う。

ポータブルな簡易測定器による測定は現地調査時に随時行うが、分析室で行う分析は、試薬の一部を日本から携行し、SEDAPAL の分析所(Atarjea)で行う。試料の採取では、分析結果が地下水の賦存の状況や流動機構の推定に役立つよう、地下水、表流水（湧泉を含む）の採取地点を調査地域に適切に分散させ、試料の採取はカウンターパートの協力を得てそれぞれ雨期、雨期あけ、乾期、乾期あけの4回行い、水質の変化を調べる。

分析の結果はキーダイアグラム、ヘキサダイアグラム、等濃度線図などにまとめるが、 $\text{Cl}^-$ あるいは電気伝導度の値には特に注意し、この高い値がまとまった地区に集中してみられる場合には、既存の水質記録（ $\text{Cl}^-$ あるいは電気伝導度）と水位記録などを調べ、塩水化現象についても考察を行う。この場合浅い井戸では、人為汚染によって起こり得る高い $\text{Cl}^-$ 値もあることに留意し、周辺環境等も考察の対象にする。海岸からの距離と $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ などの値の関係を調べる必要もある。

地下水の試料採取は後述の一斉測水調査時に行うのが最も好ましいが、試掘井の試料は連続揚水試験中に複数回採水して分析を行う。

分析は次の成分について行う。

簡易測定器： pH, 水温, 電気伝導度, 溶存酸素

分析室 : pH, 水温, 電気伝導度,

$\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,

$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^+$

試料数を次のように定める。

一斉地下水位測定試料	: 2 個/箇所 x 3 箇所 x 2流域 x 4 期	= 48 試料
揚水試験試料	: 3 個/本 x (3 箇所 x 2流域)	= 18 試料
表流水試料	: 5 個/河川 x 2 河川 x 4 期	= 40 試料
合計	:	106 試料

#### (8) 地下水利用実態の詳細な調査

第1段階の基礎調査で配布したアンケート調査票を SEDAPAL との共同作業で回収、分析し、用途別および季節別地下水利用の状況を把握する。

#### (9) データベースデータの調整

基礎調査のデータベース様式確立準備作業に引き続き、収集データの調整を行うが、以下の項目はデータベースに確実に含めることとする。

- 1) 井戸情報 (井戸台帳サブシステム)
- 2) 水文地質情報 (水文地質サブシステム)
- 3) 地下水位・水質 (モニタリングシステム)
- 4) 文献データ (文献検索サブシステム)

#### (10) 給水状況調査

リマ市周辺地域では限られた水源を有効に使用するため、いろいろな方法で採水し、給水している。これらの施設と周辺地区の立地条件を把握し、適材適所の給水計画が計れるように配慮する。また、30%あるいは47%以上とも言われるこの地域の給水施設の高い漏水率が何に原因しているのかという点にも注目する必要がある。さらに既往資料を参考に、給水施設の様式、稼働状況、故障頻度、故障原因などについて地域住民から聴取を行い、1人当たりの計画給水量や給流域統の漏水率、施設の維持管理法などが考慮された最適給水施設策定の資料とする。

### 5-4-3 第3段階： 解析・検討・開発計画の策定

詳細調査の結果に基づき、解析・検討および開発計画策定を行う。

主として、以下の項目について調査を行う。

- (1) 水理地質構造の解明
- (2) 帯水層区分の明確化
- (3) データベースシステムの策定
- (4) 優先給水候補地区の選定
- (5) 水需要予測
- (6) 水収支モデルの策定およびシュミレーション解析
- (7) 給水計画のフレームワークの策定
- (8) 総合解析（地下水開発計画，モニタリング，組織・運営体制，社会・経済・衛生<プロジェクト>評価）
- (9) 提 言

調査内容は次のとおりとする。

#### (1) 水理地質構造の解明

詳細調査で作成した地質構造粗図に、その後の調査の結果を加え、地質構造図を完成する。

#### (2) 帯水層区分の明確化

第1段階の基礎調査および第2段階の詳細調査の結果を整理し、帯水層区分を行うとともに、水理地質構造を明らかにし、第1段階、基礎調査で作成した水理地質予察図に修正を加え、水理地質図を作成する。同図の作成に当たっては、国際的な標準に準拠するものとする。

#### (3) データベースシステムの策定

将来の地下水モニタリングシステムの確立を目的として、データの集積および有効活用ができるデータベースシステムを確立する。

#### (4) 優先給水候補地区の選定

第1段階、基礎調査の“都市開発計画のレビュー”の結果を踏まえ、西暦 2001年における都市開発計画を想定して給水候補地区を抽出し、水需要の予測、および地下水開発計画策定のための基礎試料を作成する。

#### (5) 水需要予測

基礎調査および詳細調査の“地下水利用実態調査”結果、および上記の“都市開発候補地区の選定”結果から、リマ市およびリマ市周辺地域の西暦 2001年の水需要を予測し、給水施設設計の基礎資料を作成する。

#### (6) 水収支モデルの策定およびシュミレーション解析

基礎調査および詳細調査の全ての調査結果を踏まえ、チジョン川流域およびルリン川流域の、それぞれの地下水盆における水収支を検討し、水収支モデルを策定してシュミレーション

ン解析を行い、許容限界水位を試算する。

(7) 給水計画のフレームワークの策定

西暦 2001年を目標を目標としたフレームワークプランを策定し、同フレームワークプラン、且つペルー国の経済、実施機関の実施能力を充分考慮の上、段階的实施計画を策定し、その内最も緊急度、優先度が高く、しかも効果の高い計画を第一次実施計画として取り上げ、リマ市周辺地域住民の生活用水改善に、より具体的に貢献できる給水施設計画とする。水収支シュミレーション結果を考慮し、チジョン川流域およびルリン川流域の適正な井戸配置による地下水開発可能量を算定するとともに、その結果を反映させて、西暦 2001年までの都市開発計画に最適と考えられる給水システムを類型化し、計画の骨子（フレームワーク）を策定する。

(8) 総合解析（地下水開発計画、モニタリング、組織・運営体制、社会・経済・衛生評価）

1) 地下水開発計画

優先給水候補地区における地下水開発計画を策定する。（開発地区およびボーリング地点の決定、各種作業の仕様の策定）。

2) モニタリング

あるいは将来のシュミレーション解析のために、モニタリングが必要と思われる観測点の配置、観測記録項目、記録の方法、解析の方法を決定する。モニタリングの目的が、地下水管理にあり、許容限界水位以下への地下水面の低下を監視あるいは予測すること、水位変動に対する水質の変化を監視すること、地下水揚水規制地区を抽出することであることに留意する。

3) 組織・運営体制

第1段階、基礎調査で行う“組織・運営体制のレビュー”の結果を検討し、上記の地下水開発計画および給水施設に適應できる組織・体制の改善案を策定する。この体制への地域住民の参加の可能性についても考察を行う。

地下水盆を管理していく上で必要な法制度の改善についても提言を行う。

4) 社会・経済・衛生評価（プロジェクト評価）

本件調査で計画される地下水開発計画がペルー共和国にもたらす効果を、便益と損益の効果の両面から検討し、国家財政への影響、受益者負担の料金徴収法の地域住民への影響、環境衛生に及ぼす効果などについて総合評価を行う。

(9) 提 言

リマ市およびリマ市周辺地域は、水資源という観点からは非常に厳しい環境下にある。この条件のもとに、同市およびその周辺地域には 1989年 5月現在約 6,500,000人の人々が生活し、さらに人口は増え続け、西暦 2000年には 8,300,000 ～ 11,400,000人に達すると言われている。

本格調査で計画される給水施設の維持、管理、運営に関する事柄に加えて、さらに将来に

に向けた給水施設，水資源確保などに関する問題点と対策について，代替え水資源の確保などを含む提言を行う。

## 5-5 調査工程

調査の全体工程には、約 24ヶ月が見込まれる。

調査の流れを既に図5-1に示した。その暫定的な全体工程は表5-9のとおりである。

本件調査の調査期間に最も大きな影響を与える作業は、試験井（揚水井、観測井）の建設である。この作業には、掘削、検層、ケーシングおよびスクリーン挿入、砂利充填、洗浄（清水、洗浄剤、エアリフト）、揚水試験が含まれ、そのほか自記水位計設置、保護小屋の建設などの付帯作業が必要である。試験井は揚水井、観測井ともに、チジョン川流域で 3本、ルリン川流域で 3本、合計 12本とする。チジョン川流域の掘削深度は 250m程度、ルリン川流域の掘削深度は 150m程度と予想されるが、これらの深度は、主として物理探査の結果と本件調査の目的とを勘案して、臨機応変に逐次変更する必要がある。

試験井の建設は、物理検層、揚水試験を含め、ペルー共和国の業者との契約施工とする。この場合の工程は次のように予想される。

### (1) 揚水井

表5-5 チジョン川流域の揚水井(最長 250m)建設の作業工程

仮設工事	1日
掘削工事	55日
物理検層	1日
ケーシングパイプ、ストレーナ挿入	1日
砂利・粘土充填	1日
孔内洗浄	3日
揚水試験	4日
機械類撤去	1日
移動	1日
計	68日
$68日 \times 3本 = 204日$	
$204日 = 6.8 \text{ ヶ月}$	

表5-6 ルリン川流域の揚水井(最長 150m)建設の作業工程

仮設工事	1日
掘削工事	35日
物理検層	1日
ケーシングパイプ, ストレーナ挿入	1日
砂利・粘土充填	1日
孔内洗浄	3日
揚水試験	4日
機械類撤去	1日
移動	1日
計	48日
48日× 3本 = 144日	
144日 = 4.8ヶ月	

(2) 観測井

表5-7 チジョン川流域の観測井(最長250m)建設の作業工程

仮設工事	1日
掘削工事	67日
物理検層	1日
ケーシングパイプ, ストレーナ挿入	1日
砂利・粘土充填	1日
孔内洗浄	3日
揚水試験	1日
機械類撤去	1日
移動	1日
計	76日
76日× 3本 = 228日	
228日 = 7.6ヶ月	

表5-8 ルリン川流域の観測井(最長150m)建設の作業工程

仮設工事	1日
掘削工事	52日
物理検層	1日
ケーシングパイプ, ストレーナ挿入	1日
砂利・粘土充填	1日
孔内洗浄	3日
揚水試験	-日
機械類撤去	1日
移動	1日
計	61日
61日× 3本 = 183日	
183日 = 6.1 ヶ月	



表5-9 本格調査工程表 (案)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
work in Peru																										
work in Japan																										
Report	△	IC/R			△	P/R(1)							△	P/R(2)			△	IT/R			△	DF/R	○		△	F/R

(REMARKS) IC/R : インセンション・レポート P/R(1),(2) : プロGRESS・レポート  
 IT/R : インテリム・レポート DF/R : ドラフトファイナル・レポート  
 ○ : Comment F/R : ファイナル・レポート

## 5-6 報告書

次の報告書を作成し、ペルー国側に提出のうえ、説明・協議を行う。

これらの報告書は英文のみで作成するが、ファイナル・レポートのメインレポートのみ西文翻訳版を作成する。

### 1) インセプション・レポート

現地調査着手時

英文 20部

### 2) プロGRESS・レポート(1)

第1次現地調査終了時

英文 20部

### 3) プロGRESS・レポート(2)

第2次現地調査終了時

英文 20部

### 4) インテリム・レポート

第3次現地調査終了時

英文 20部

### 5) ドラフトファイナル・レポート

調査開始後22カ月以内

英文(メインレポート) 20部

英文(サポーティングレポート) 20部

英文(ベーシックデータ) 20部

上記ドラフトファイナル・レポートに対するペルー国側のコメントは、同レポート提出後1カ月以内にJICAに通告される。

### 6) ファイナル・レポート

ドラフトファイナル・レポートに対するコメントを受領後1カ月以内に提出

英文・西文(メインレポート) 40部

英文(サポーティングレポート) 40部

英文(ベーシックデータ) 2部

## 5 - 7 要員計画

- ① 総括／地下水開発
- ② 副総括／水理地質
- ③ 地形・地質
- ④ 水文収支
- ⑤ 水質分析
- ⑥ 物理探査
- ⑦ ボーリングA
- ⑧ ボーリングB
- ⑨ 給水計画
- ⑩ 施設設計／積算
- ⑪ 組織・経済・財務分析

## 5-8 調査用資機材

本件調査に必要な資機材の仕様と数量は、次ページの表5-10 のとおりである。

表 5 - 10 調査用資機材リスト (事前調査団案)

[物理探査] : 損料対象

品 名	数量	仕 様	備 考
1. 電気探査機	1式	出力電圧：700V p-p 出力電流：1A (最大) 分解能：100 $\mu$ A, 精度：0.3% アクセサリ：1式	探査深度 300m(ab/2=900m程度) 比抵抗探査装置 ケーブル 5,000m, 電極 $\phi$ 1cm, 160cm, 40本程度
2. トランシーバー	5台	出力 500mV程度	
3. スタッフ	2本	5m $\times$ 5段	

[測定機器]

品 名	数量	仕 様	備 考
4. 水質分析器具	2セット	ポータブル水質計 pH, 水温, 溶存酸素, 導電率, 濁度	水質チェッカーU7または同等以上
5. 河川流速計	1台	測定範囲：0.08 ~3.00 m/sec (0.1~0.3m/secが中心)	プロペラ型
6. 自記水位計	10台	1~3ヶ月巻	測定範囲 50m, 防水ケース付き
7. ポータブル水位計	2台 2台 5台	測定深度：200m 測定深度：150m 測定深度：100m	ボーリング, 揚水試験 水理地質, 水文気象, ボーリング 一斉測水調査
8. オートレベル	2台	倍率 3倍	
9. 採水器	3式		
10. 採水ポリ容器	5個	容量：2,000cc	

[共 通]

品 名	数量	仕 様	備 考
11. 4WDジープ	4台	ステーションワゴンタイプ 乗車定員：5~9人 エンジン型式：水冷ディーゼル エンジン	諸調査業務用
12. パーソナル コンピュータ	1式	J3100-GX, または同等品 プリンター, ケーブル等周辺機器, ソフト類 英文MS-DOS 英文BASIC 英文ワープロソフト 英文表計算ソフト 増設 2MBメモリーカード	



## 添 付 資 料

- 1 要請書
- 2 S/W
- 3 議事録 (M/M)
- 4 面談者リスト
- 5 現地ボーリング業者業者リスト
- 6 収集資料リスト
- 7 関連資料の収集状況
- 8 参考資料および目次





# 1 要 請 書



12 MAR. 1990

南米調査実施要請

「リマ市及び周辺の上水供給」について

「リマ市」

(「リマ市」の調査結果を「リマ市」の調査結果として提出する。)

RE. (CI-PD) NO 6-18/35

El Ministerio de Relaciones Exteriores saluda muy atentamente a la Honorable Embajada del Japón y tiene a honra solicitar la cooperación técnica internacional de su ilustrado Gobierno en apoyo al Proyecto "Estudio de Factibilidad para el Abastecimiento del Agua Potable en la Ciudad de Lima y Zonas Perifericas".

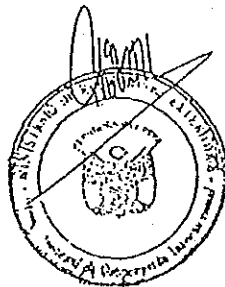
「リマ市」の調査結果を「リマ市」の調査結果として提出する。南米調査実施要請

El objetivo principal del presente Proyecto es el de abastecer de agua potable la ciudad dentro de un tiempo relativamente corto, por lo cual se hace necesario llevar a cabo actividades de investigación y desarrollo de las mismas que conlleven a optimizar los recursos hídricos.

Al respecto, es grato hacer llegar a esa Honorable Embajada un ejemplar de la solicitud de Cooperación Técnica Internacional.

El Ministerio de Relaciones Exteriores hace propicia la oportunidad para reiterar a la Honorable Embajada del Japón, las seguridades de su más alta y distinguida consideración.

Lima, 15 de febrero de 1990



A la : Honorable Embajada del Japón CIUDAD.-