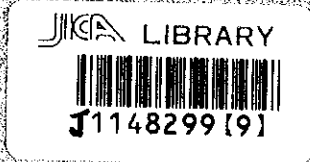


ペルー国

ビスカチャス高原地下水開発計画
基本設計調査

基本設計調査報告書

平成11年1月



国際協力事業団
日本工営株式会社

ペル－国

ビスカチャス高原地下水開発計画
基本設計調査

基本設計調査報告書

平成11年1月

国際協力事業団
日本工営株式会社



1148299 [9]

序 文

日本国政府は、ペルー共和国政府の要請に基づき、同国のビスカチャス高原地下水開発基本計画調査にかかる基本設計調査を行なうことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成10年8月30日から9月27日まで基本設計調査団を現地に派遣しました。

調査団は、ペルー国政府関係者と協議を行なうとともに、計画対象地域における現地調査を実施いたしました。帰国後の国内作業の後、平成10年11月15日から11月27日まで実施された基本設計概要書案の現地説明を経て、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11年1月

国際協力事業団

総裁 藤田 公郎

伝 達 状

今般、ペルー共和国におけるビスカチャス高原地下水開発基本設計調査が終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

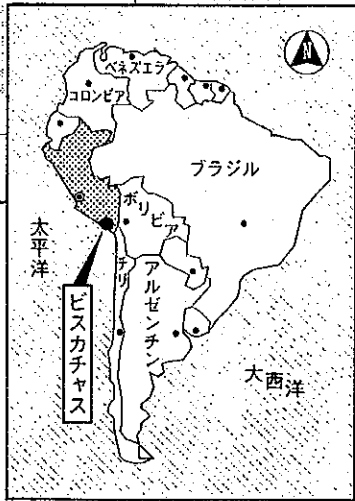
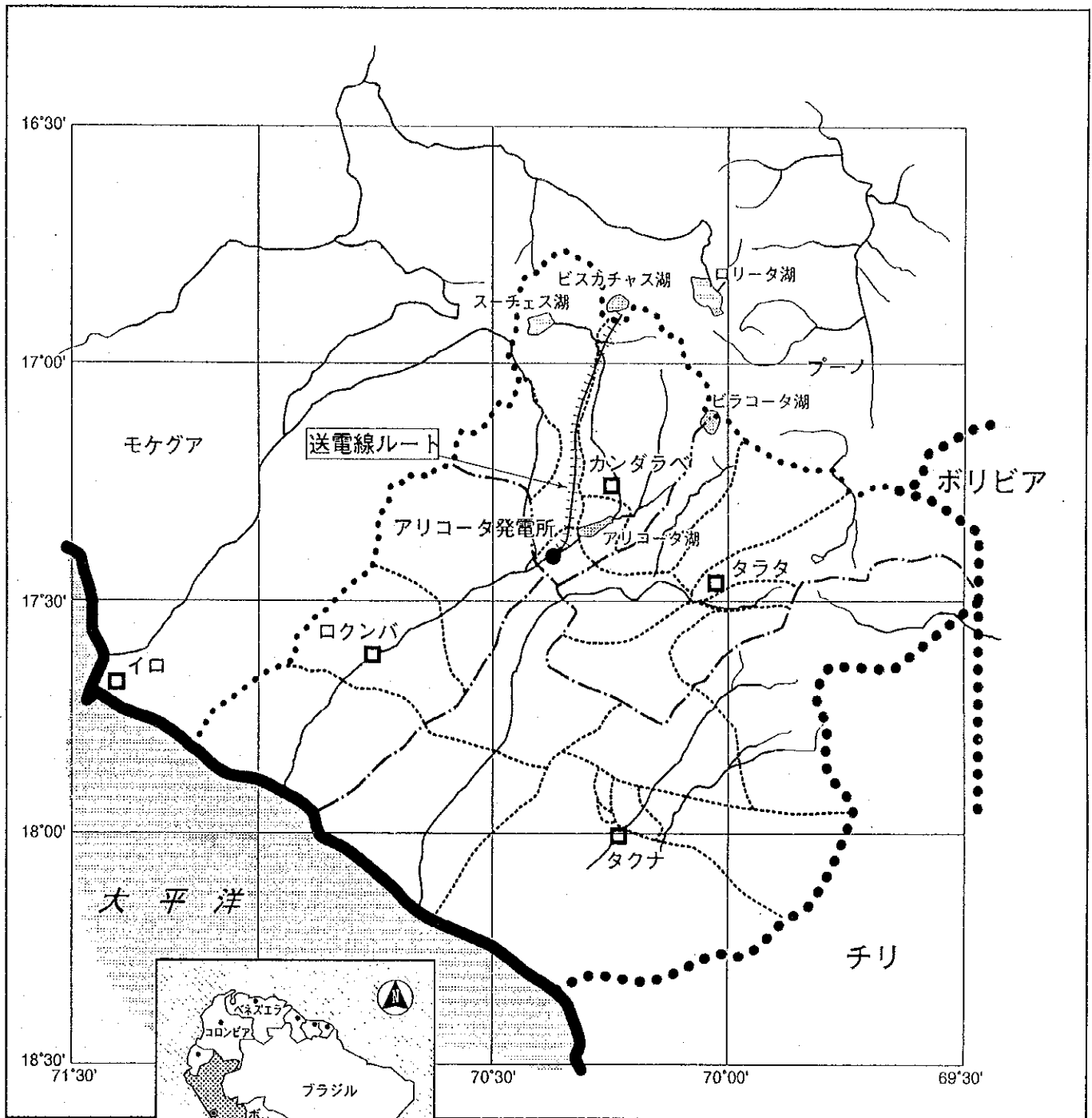
本調査は、貴事業団との契約に基づき、弊社が平成10年8月10日より平成11年1月29日までの5.5カ月間にわたり実施してまいりました。今回の調査に際しましては、ペルーの現状を十分に踏まえ、本計画の妥当性を検討するとともに、日本の無償資金協力の枠組に最も適した計画の策定に努めてまいりました。

つきましては、本計画の推進に向けて、本報告書が活用されることを切望いたします。

尚、同期間中、貴事業団を始め、外務省関係者には多大のご理解並びにご協力を賜り、お礼を申し上げます。またペルーにおける現地調査期間中は、国家開発庁、JICAペルー事務所、在ペルー日本国大使館の貴重な助言とご協力を賜ったことも付け加えさせていただきます。

平成11年1月

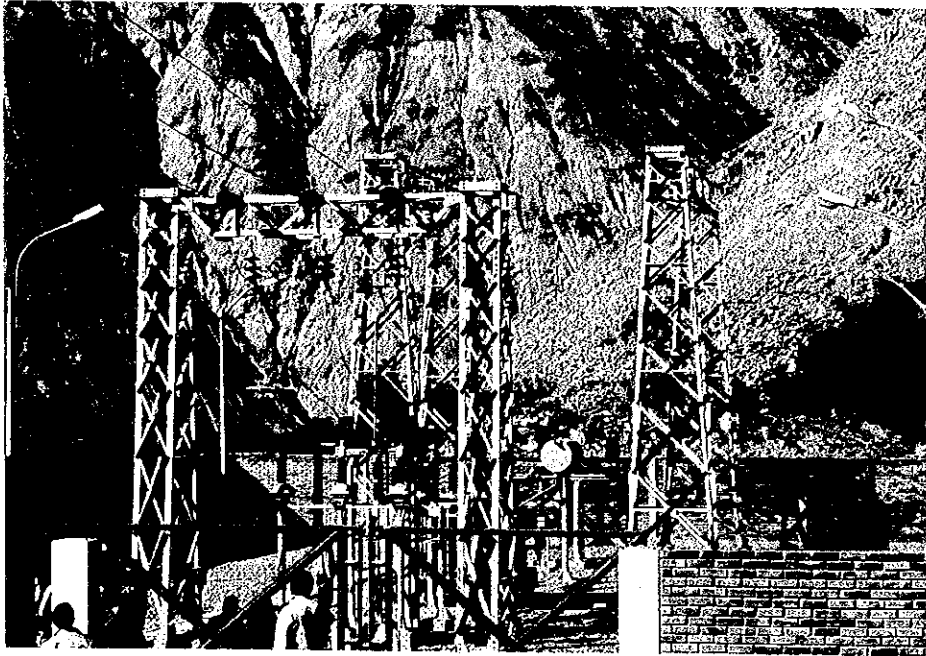
日本工営株式会社
ペルー共和国
ビスカチャス高原地下水開発
基本設計調査団
業務主任 砂川 義一



凡例	
●●●●●	国境
.....	県境
— · — · —	郡境
—	川
— · — · —	道路



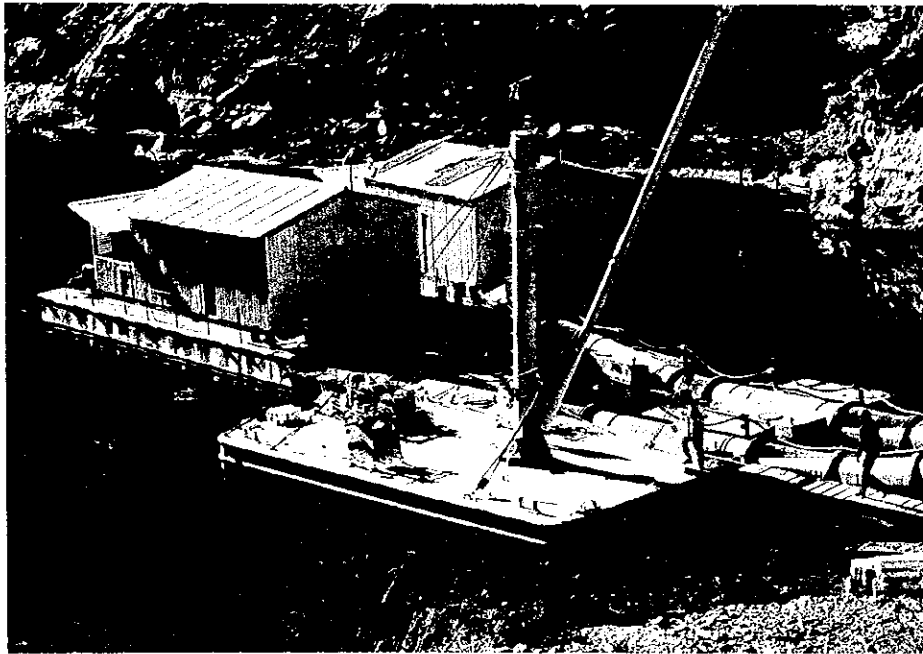
アリコータ湖



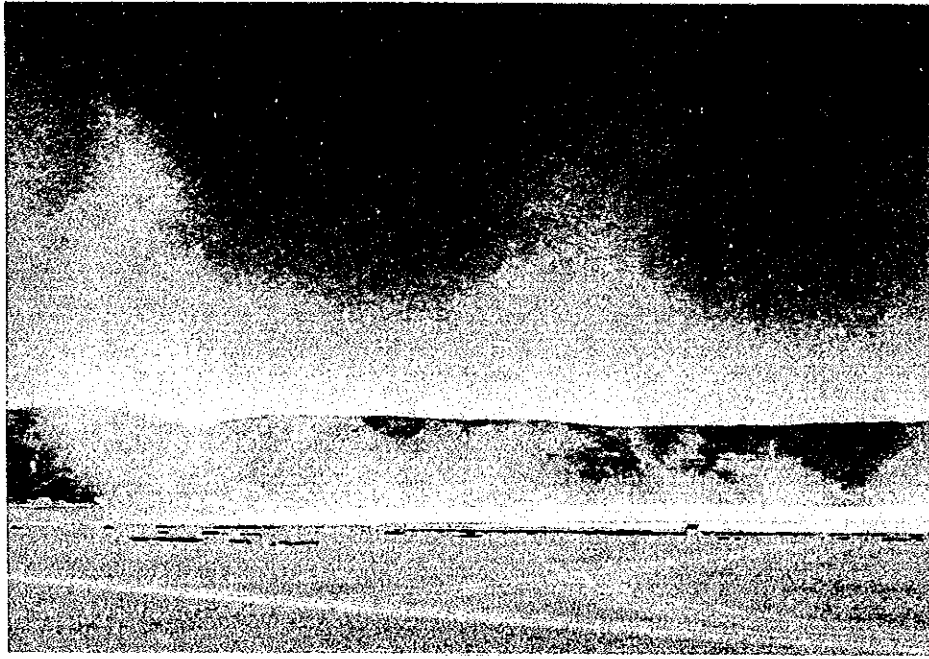
サリタ変電所



アリコータ発電所導水トンネル



アリコータ湖ポンプ



ビスカチャス湖



ビスカチャス導水路

略語集

組織

ANSI	: 米国規格 (American National Standard Instituto)
EGASA	: アレキバ電力公社 (Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa)
EGEMSA	: マチュピチュ電力公社 (Empresa de Generación Eléctrica de Macchupicchu)
EGESUR	: 南部電力公社 (Empresa de Generación Eléctrica del Sur S.A.)
IEC	: 国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission)
INADE	: 国家開発庁 (Instituto Nacional de Desarrollo)
IMF	: 国際通貨基金 (International Monetary Fund)
IPEN	: ペルー原子力エネルギー研究所 (Instituto Peruano de Energia Nuclear)
ISO	: 国際標準化機構 (International Organization for Standardization)
JEC	: 日本電気学会規格調査会 (Japanese Electro Technical Committee Standards)
JEM	: 日本電機工業会 (The Standard of the Japan Electrical Manufacturer's Association)
JICA	: 日本国際協力事業団 (Japan International Cooperation Agency)
JIS	: 日本工業規格 (Japan Industrial Standards)
MIME	: 鉱工業・エネルギー省 (Ministry of Industry, Mines and Energy)
NK	: 日本工営株式会社 (Nippon Koei Company Limited)
PET	: タクナ特別プロジェクト部 (Proyecto Especial Tacna)
WB	: 世界銀行 (World Bank)

専門用語

CT	: 変流器 (Current Transformer)
DL	: 配電線 (Distribution Line)
FY	: 会計年度 (Fiscal Year)
IPP	: 独立系発電事業者 (Independent Power Producer)
LDC	: 給電指令所 (Load Dispatching Center)
LV	: 低圧 (Low Voltage)
MV	: 中位電圧 (Medium Voltage)
HV	: 高圧 (High Voltage)
O&M	: 運転・保守 (Operation and Maintenance)
OH	: 架空 (Overhead)
PS	: 発電所 (Power Station)
SC	: キャパシタ (Static Capacitor)
SS	: 変電所 (Substation)
TL	: 送電線 (Transmission Line)

単位

mm	: ミリメートル (millimeter = 10^{-3} m)
cm	: センチメートル (centimeter = 10^{-2} m)
m	: メートル (meter)
km	: キロメートル (kilometer = 10^3 m)
mm ²	: 平方ミリメートル (square millimeter)
cm ²	: 平方センチメートル (square centimeter)
m ²	: 平方メートル (square meter)
km ²	: 平方キロメートル (square kilometer)
m ³	: 立方メートル (cubic meter)
km/hr	: キロメートル毎時 (kilometer per hour)
kg	: キログラム (kilogram)
kg/m ²	: キログラム毎平方メートル (kilogram per square meter)
t	: トン (metric ton)
°C	: セ氏温度 (degree(s) centigrade)
A	: アンペア (ampere)
kA	: キロアンペア (kiloampere)
V	: ボルト (volt)
kV	: キロボルト (kilovolt)
kW	: キロワット (kilowatt)
MW	: メガワット (megawatt = 10^3 kW)
GW	: ギガワット (gigawatt = 10^3 MW)
kVA	: キロボルトアンペア (kilo voltampere)
MVA	: メガボルトアンペア (mega voltampere = 10^3 kVA)
GVA	: ギガボルトアンペア (giga voltampere = 10^3 MVA)
kVAR	: キロバール (kilovar)
kWh	: キロワット時 (kilowatt hour)
MWh	: メガワット時 (megawatt hour = 10^3 kWh)
GWh	: ギガワット時 (gigawatt hour = 10^3 MWh)
W/m ²	: ワット毎平方メートル (watt per square meter)
Hz	: ヘルツ (hertz ; cycles per second)
US\$: 米ドル
Soles	: ソレス

要 約

ペルー国は南アメリカ大陸の太平洋沿いに位置し、エクアドル、コロンビア、ブラジル、ボリビア、チリと国境を接している。東西の最大距離は約 1,400 km、南北の最大距離は約 2,000 km である。国土面積は 128.5 万 km² であり、日本の約 3.4 倍の広さである。北東部はアマゾン川の密林地帯であり、沿岸地帯を除いた中央と南東部は海拔 5,000 m を越えるアンデス高地となっている。気温の差は高度により、また日中と夜間とで大きい。フンボルト海流の影響で 30℃ を越えることは少ないが、氷点下 10℃ に下がることもある。湿度は地域により大幅に異なり、本プロジェクト実施地域付近では年平均湿度が 50% 以下である。ペルー国の総人口は 25.6 百万人で、首都リマの人口は 641 万人である。

1990 年はじめ、ペルー経済はハイパーインフレーション、急激な生産性の低下、テロ活動の悪化により深刻な経済危機に直面していた。この年発足したフジモリ政権は徹底した経済基盤の整備を実施し、1990 年に 7,650% だったインフレ率は 1996 年には 12% まで低下した。1993 年には、国営企業の民営化などを含む総合的経済 3 ヶ年プログラムを実施し、その結果 3 年間の経済成長率は年平均 8.5% を記録した。

ペルー国最南端に位置するタクナ県に日本の資金協力で 1966 年に建設されたアリコータ第一・第二の両水力発電所は、ポンプアップしたアリコータ湖の湖水を利用して安定した電力供給を行なってきたおり、社会生活の改善、安定した社会生活の維持、産業・商業の育成・開発等の地域開発の基盤となっている。タクナ市を電力供給範囲とする南部電力系統 (EGESUR) においてアリコータ発電所はその 41% を供給している最重要発電所であり、発電に使用された水は灌漑用水とイロ市の水道用として利用されている。

しかしながら、上記アリコータ湖の水位は、発電所の運転開始時の 1966 年には標高 2,837 m であったが、約 30 年間の運転の後、現在の水位 2,748.36 m まで約 89 m 低下している。この状態を放置しておくと、数年後にはアリコータ湖が完全に干上がってしまい、発電のみならず灌漑用水と水道水が枯渇することが予想されている。

このような状況から、1994 年ペルー国政府は日本に対して、アリコータ湖の枯渇を防ぐ事を目的としてビスカチャス高原の地下水を揚水してアリコータ湖に導入するための資機材の調達に関して無償資金協力を要請してきたものである。

この要請に基づき、日本国政府は、1994 年、地下水開発コンポーネントのみを対象として簡易機材調査を決定し、国際協力事業団 (JICA) は現地に調査団を派遣した。しかしながら、揚水試験データ等先方提出資料では要請資機材の妥当性を確認することが困難であったこと、水利権等実施のための前提条件が不明確であったことから、ペルー側と連絡を取りつつ国内作業で対応策を検討してきた。この結果を受け、JICA は 1996 年 8 月 14 日より 8 月 26 日までの 13 日間にわたり事前調査団を派遣し、周辺状況の変化、要請内容の再確認、本件実施のための諸条件の整理を行なった上で、基本設計調査団を 1998 年 8 月 30 日より 9 月 28 日までの 30 日間、ペルー国へ派遣した。調

査団はペルー国側の当該計画の実施機関である国家開発庁(INADE)と協議を行ない、要請のあったポンプ施設・送配電設備に係わる問題点などを調査するとともに、計画の妥当性の検証と基本設計を実施するために必要な資料の収集を行なった。帰国後、調査団は基本設計に着手し、その成果を基本設計調査概要書にとりまとめ、11月15日から26日までリマにおいてペルー側に説明を行った。

現在、アリコータ湖の水位は水深9mまで低下しており、更なる水位の低下を防ぐため、平均使用水量を制限せざるを得ない状況となっている。このため、アリコータ発電所の設備稼働率は30.3%になっているのみならず、軽負荷運転による発電用水車に損傷が発生しているのをはじめ、発電所の下流域の灌漑地域では、水量の低下により総農地面積の約40%が放置されており、また、アリコータ湖の水を飲料水として利用しているイロ市では、1日5時間に給水時間を制限するなど、種々の問題が発生している。

また、ピスカチャス高原には既にペルー側独自で10本の井戸が掘削されており、2台の揚水ポンプにより地下水の汲み上げがおこなわれているものの、ポンプの能力不足により、アリコータ湖の水位を回復するまでには至っていない。

本計画は、これらペルー側独自で掘削した10本の井戸の内4本を利用して、400 l/sの地下水を揚水してアリコータ湖へ導入するために必要な電動式深井戸水中ポンプ等の資機材およびポンプ駆動用電源を、アリコータ発電所から供給するための33 kVの送電線と変電所用資機材を調達するものである。本計画で調達される資機材を以下の表に示す。

No.	機材名	単位	数量	摘 要
I	機械類			
1	15トンクラスの油圧式トラッククレーン	台	1	
II	揚水機材			
1	深井戸用水中モーターポンプ 揚水量：70-130 l/s 全揚程：47 - 96 m	台	5	含予備一台
2	HDPE製10"送水管10キロ級	m	860	
3	HDPE製12"送水管10キロ級	m	710	
4	HDPE製ベンド管10キロ級	個	16	
5	鋼製漸縮管10キロ級	個	4	
6	鋼製漸縮管8"-10"10キロ級	個	2	
III	運搬機械			
1	3トンのクレーン付き後輪一軸6トントラック	台	1	

No.	機 材 名	単 位	数 量	摘 要
IV	地下水調査機材			
1	孔内検査用ビデオカメラ	台	1	
2	比抵抗測定器(深 400 m)	台	1	
3	現場用水質分析器	台	1	
4	自記水位計	台	8	
V	電気設備			
1	屋外用三相変圧器：使用標高 2,500 m 3 MVA, 66/33 kV	台	1	
2	屋外用三相変圧器：使用標高 4,600 m 1.2 MVA, 33/10 kV	台	1	
3	屋外用三相変圧器：使用標高 4,600 m 150-200 kVA, 10/0.46 kV	台	5	
4	磁器がいし：ANSI 52.3, 56.5, 56.2 級	個	4,400	
7	33 kV 用アルミ電線 (67 mm ²)	m	190,000	
8	10 kV 用銅電線 (16 mm ²)	m	33,000	
9	垂鉛メッキ鋼より線 (23.4 mm ²)	m	43,000	
10	避雷器：自動バルブタイプ, 12 & 33 kV, 放電容量 10 kA	台	39	
13	三相区間開閉器：36, 52 kV, 400 A	台	3	
14	70 A, 50 A, 10A ヒューズ付き単相カットアウトスイッチ	台	31	含予備 4 台
15	三相開閉器：72.5 kV, 1600 A, (BIL 325 kV)	台	2	
16	柱上油入り再閉路遮断器：27 kV, 200 A, (BIL 125 kV)	台	2	
17	アリコート変電所用保護リレー盤	式	1	
18	ビスカチャス変電所用保護リレー盤	式	1	
19	アーマーロード：AAC, 67 mm ²	本	1,400	

本計画を日本の無償資金協力で実施する場合、概算事業費は約 8.32 億円(日本側負担経費：4.85 億円、ペルー国側負担経費 3.47 億円)と見積られる。また、本計画の全体工程は実施設計を含め 15 ヶ月程度が必要とされる。

本計画の実施により、以下の効果が期待できる。

- (1) 現在の計画ではアリコータ湖への流入量 1,050 l/s に対して 1,500 l/s の湖水の揚水を行なうことになっており、その差から計算すると残存湖水の内の使用可能量である $21.34 \times 10^6 \text{ m}^3$ (57.34 MCM-36 MCM) は一年半で完全に枯渇することになる。本プロジェクトを実施した場合には本プロジェクトで揚水する地下水の 360 l/s が流入量に加算されるので、湖水の揚水量と流入量の差は 90 l/s となり、アリコータ湖の枯渇は 7 年半先まで伸ばせることになる。
- (2) 現在の湖水揚水量 1,050 l/s を 1,410 l/s に増加させることが可能なので、アリコータ発電所の発電量が約 40% 増加する。(年間 67 百万円相当の増加) この増加分は地下水の揚水用電力に使用されるのみならず、タクナ県の灌漑用水と生活用電力の安定的供給に寄与する。
- (3) 1,410 l/s に湖水揚水量を増加させることにより、現在 100 l/人/日に制限されており渇水寸前にあるイロ市の水道水供給量が 40% 増加することになり、イロ市民の生活安定に寄与することになる。

しかしながら、本計画をより円滑かつ効果的に実施するため、以下の課題を解決する必要がある。

- (1) ポンプ設備の据付と送電線の建設、変電所の建設をスケジュール通り実施するなど、ペルー側負担事項の遵守が必要である。
- (2) ポンプの設備容量は、維持管理中の停止期間を考慮して計画取水量の 110% として計画しているため、常時容量いっぱいの運転をした場合には、過度な汲み上げとなる。ビスカチャス高原の地下水を継続的に利用するためには、地下水汲み上げ量を正確に把握し、管理する必要がある。
- (3) 本計画によって供給される地下水は、イロ市までの途中で灌漑用水としてその大半が消費されてしまう可能性が高い。従って灌漑と水道用水の水利用率を明確にするとともに、無駄な水の損失を防ぐための灌漑水路の改善および運用が必要である。
- (4) 現時点における灌漑と水道用水の計画分配量(合計 1,500 l/s)は、河川流量が多かった時代に決められたものであり、その後供給量が変わっているにも関わらず分配率は変化していない。この計画量(1,500 l/s)をアリコータ湖から揚水すると、前項に示すように約七年半で同湖は枯渇する可能性がある。さらに、限られた水資源を効率的に分配するためには、この湖水を水源としているイロ市人口の増加、流域の産業構造の変化等、現況に即して、給水分配率を見直しする必要がある。

目次

序文
伝達状
位置図/写真
略語集
要約

1. 要請の背景

1-1	要請の内容	1-1
1-2	調査対象地区の概要	1-2

2. プロジェクトの周辺状況

2-1	当該セクターの開発計画	2-1
2-1-1	上位計画	2-1
	(1) 本計画と上位計画との関連	2-1
	(2) 関連開発計画	2-1
2-1-2	財政事情	2-2
2-2	他の援助国、国際機関等の計画	2-3
2-3	わが国の援助実施状況	2-3
2-4	プロジェクト・サイトの状況	2-4
2-4-1	自然状況	2-4
	(1) 気象	2-4
	(2) 地形・地質概況	2-6
	(3) ビスカチャス高原の地質	2-6
	(4) ビスカチャス高原の水理地質	2-7
2-4-2	社会基盤整備状況	2-8
2-4-3	既存施設・機材の現状	2-9
	(1) ビスカチャス高原	2-9
	(2) アリコータ湖	2-10
	(3) アリコータ水力発電所	2-10
	(4) 農業灌漑用水	2-14
	(5) イロ市生活用水	2-16
	(6) 環境への影響	2-17

3. プロジェクトの内容

3-1	プロジェクトの目的	3-1
3-2	プロジェクトの基本構想	3-1
3-2-1	水収支のバランス	3-1
3-2-2	取水可能量	3-2
3-2-3	計画のアウトライン	3-4
	(1) 地下水観測設備のアウトライン	3-4
	(2) 取水設備のアウトライン	3-5
	(3) 電力設備のアウトライン	3-5
3-3	基本設計	3-7
3-3-1	設計方針	3-7
	(1) 適用基準・規格	3-7

	(2)	使用電圧	3-7
	(3)	気象条件	3-7
	(4)	地形・地質条件	3-8
	(5)	設計基準	3-8
3-3-2		基本計画	3-11
	(1)	対象地区および施設の概要	3-11
	(2)	井戸配置計画	3-12
	(3)	取水設備	3-20
	(4)	送電設備	3-27
	(5)	変電設備	3-34
	(6)	配電設備	3-41
	(7)	地下水観測設備	3-42
3-4		プロジェクトの実施体制	3-44
3-4-1		組織	3-44
	(1)	全体組織	3-4
	(2)	計画・建設にかかわる組織機能	3-44
3-4-2		予算	3-46
3-4-3		要員・技術レベル	3-46

4. 事業計画

4-1		施工計画	4-1
4-1-1		施工方針	4-1
	(1)	日本側コンサルタントの業務	4-1
	(2)	日本業者の業務	4-1
	(3)	ペルー国側実施項目	4-1
4-1-2		施工上の留意事項	4-2
4-1-3		施工区分	4-2
4-1-4		施工監理計画	4-3
	(1)	日本側コンサルタント業務	4-3
	(2)	ペルー側 PET の業務	4-3
	(3)	コンサルタントおよび PET の業務担当者	4-4
4-1-5		資機材調達計画	4-4
4-1-6		実施工程	4-5
4-2		概算事業費	4-7
4-2-1		概算事業費	4-7
	(1)	日本国側負担経費	4-7
	(2)	ペルー国側負担経費	4-7
4-2-2		運営維持管理計画	4-7

5. プロジェクトの評価と提言

5-1		プロジェクトの評価	5-1
5-2		プロジェクトの便益・費用分析	5-3
5-3		提言	5-3

表リスト

表 1-1	タクナ県の人口と面積	1-3
表 2-1	INADE 及び PET の年間予算額	2-2
表 2-2	PET の予算実績	2-3
表 2-3	他の援助国、国際機関等の計画	2-4
表 2-4	経済・技術協力の内訳	2-3
表 2-5	ビスカチャス高原の気象状況	2-5
表 2-6	ビスカチャス高原の地質層序	2-7
表 2-7	既設ポンプの仕様	2-9
表 2-8	アリコータ水力発電所の既設設備	2-13
表 2-9	アリコータ水力発電所の計画発電電力	2-13
表 3-1	使用電圧	3-7
表 3-2	設計気象条件	3-8
表 3-3	33 kV 送電線設計条件	3-8
表 3-4	取水設備設計基準	3-9
表 3-5	33 kV 設備設計基準	3-9
表 3-6	10 kV 設備設計基準	3-9
表 3-7	400 V 設備設計基準	3-10
表 3-8	接地方式	3-10
表 3-9	送電線の許容最小離隔距離	3-10
表 3-10	施設の概要	3-11
表 3-11	既設井戸の諸元	3-13
表 3-12	井戸評価項目の評価基準	3-15
表 3-13	1 次総合評価による方法	3-15
表 3-14	既存井戸の 1 次評価結果	3-16
表 3-15	井戸と水路の位置関係	3-16
表 3-16	揚水による水位低下量の試算結果	3-19
表 3-17	揚水が他の井戸におよぼす水位低下量	3-19
表 3-18	取水設備設置井戸における水位低下計画値	3-20
表 3-19	ポンプ形式の比較	3-21
表 3-20	ポンプ用駆動機形式の比較	3-21
表 3-21	電動機形式の比較	3-22
表 3-22	電動機始動方式の選定	3-22
表 3-23	操作盤機器	3-23
表 3-24	送水管材料比較	3-24
表 3-25	取水設備の基本仕様	3-26
表 3-26	送電設備の基本概要	3-26
表 3-27	変電設備の基本概要	3-26
表 3-26	サリタ変電所増設用資機材	3-35
表 3-27	標高 2200 m における基準衝撃絶縁強度	3-36
表 3-28	標高 4600 m における基準衝撃絶縁強度	3-38
表 3-29	ビスカチャス変電所建設用資機材	3-38
表 3-30	低圧設備の基準衝撃絶縁強度	3-40
表 3-31	ポンプ場用配電変電所建設用資機材	3-41
表 3-32	低圧配電線の概要	3-41
表 3-33	自記水位計取付井戸	3-43
表 3-34	PET 職員数	3-44
表 3-35	専門分野別技術者数	3-44

表 3-36	計画の予算と実効額	3-46
表 4-1	資機材調達計画	4-5
表 4-2	日本国側負担経費	4-7
表 4-3	ペルー国側負担経費	4-7
表 4-4	運営維持管理費	4-8

図面リスト

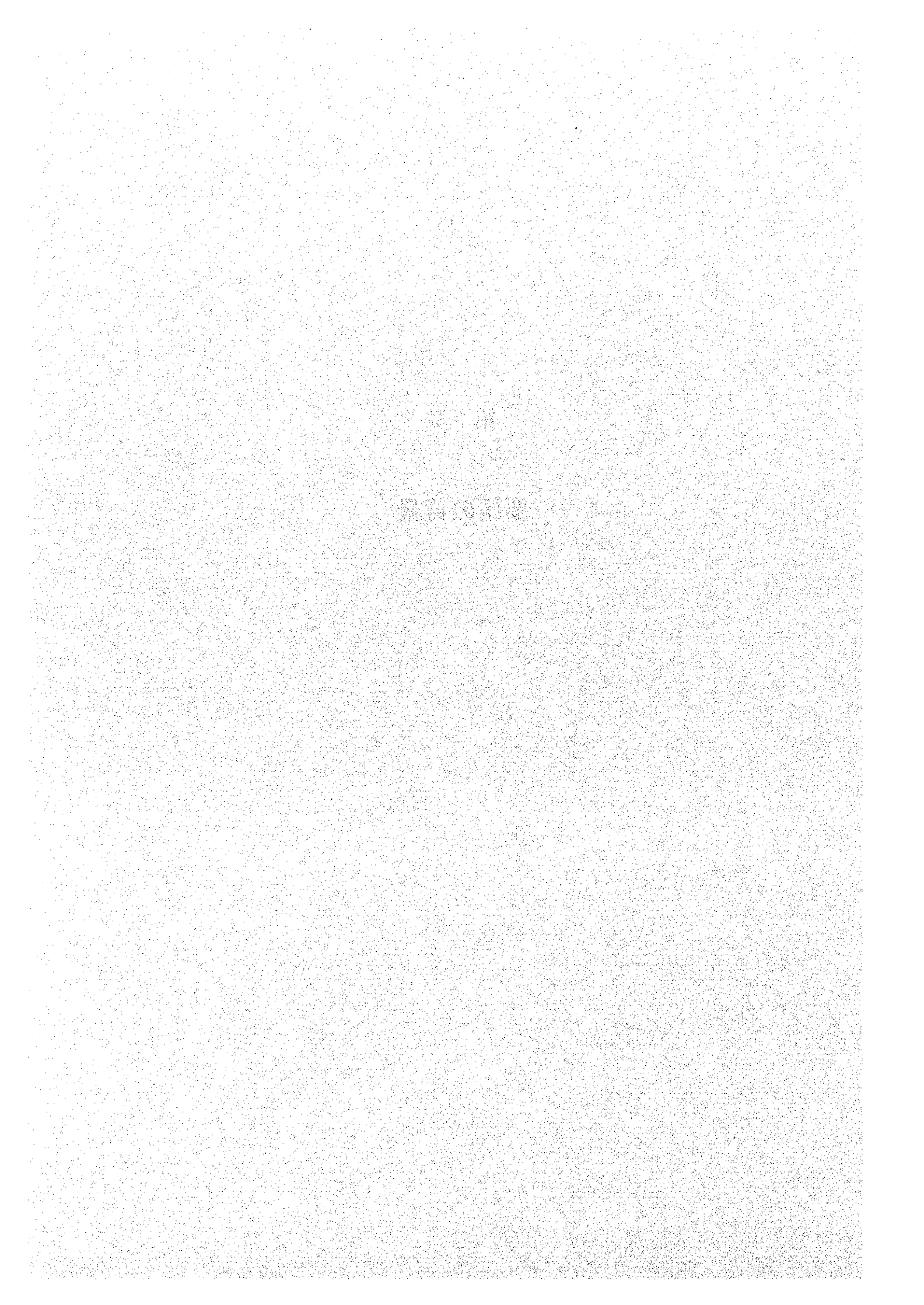
図 1-1	計画地区の位置図	1-4
図 2-1	アリコータ発電所概要図	2-12
図 2-2	発電所日負荷曲線	2-13
図 2-3	カヤサス川流域の灌漑系統	2-15
図 3-1	取水による湖水位の変化の将来予測	3-3
図 3-2	電力設備のアウトライン	3-6
図 3-3	ビスカチャス高原の井戸・水路配置図	3-14
図 3-4	ポンプ場の機器配置図	3-25
図 3-5	33 kV 送電線ルート図	3-28
図 3-6	計画対象地域の電力系統図	3-33
図 3-7	国家開発庁組織図	3-44
図 3-8	タクナ特別プロジェクト部組織図	3-45
図 4-1	事業実施工程計画表	4-6

資料リスト

資料 1	調査団氏名、所属
資料 2-1	調査日程(基本設計調査)
資料 2-2	調査日程(基本設計概要説明調査)
資料 3	相手国関係者リスト
資料 4	相手国の社会・経済事情
資料 5-1	参考資料リスト(貸与分)
資料 5-2	参考資料リスト(現地収集分)
資料 6	日本側が調達する機材およびペルー側が負担する機材および工事
資料 7	電力潮流計算
資料 8	支持物装柱図
資料 9	送電線材料表
資料 10	単線結線図
資料 11-1	ビスカチャス高原における水収支機構と地下水開発可能量
資料 11-2	ビスカチャス高原における地下水賦存量

第1章

要請の背景



1. 要請の背景

1-1 要請の内容

ペルー政府は同国のほぼ南端部のチリ国との国境近くに位置するタクナ県においてタクナ県総合開発計画を実施し民生安定のため経済開発を重点的におこなってきた。同計画の一環として、日本政府の資金協力のもとに、アリコータ湖水を利用したアリコータ第1発電所（出力23,800kW）および第2発電所（出力11,900kW）を1966-1967年にかけて完成させ、タクナ市及びその周辺の電力需要を満たす重要な電源として運転されている。アリコータ湖水は年間を通じてほとんど降雨のない海岸帯における灌漑用水として、またイロ市の生活用水として重要な役割を果たしている。

アリコータ発電所で使用する発電用水は、アリコータ湖へ流入する平均日量相当分（1.05 m³/sec）と湖水（1.3 m³/sec）をあわせて使用する計画であった。この計画では発電所の運転開始後22年間でアリコータ湖の計画貯水量を全て使用してしまうものであった。しかしながら、1967年から1977年にかけては、電力需要の伸びが穏やかであったこと、また灌漑地への農業用水補給も限定されたものであったため同湖の水位は増減を繰り返しながらもほぼ一定水位を保ってきた。1978年より電力及び農業用水需要増にあわせてアリコータ湖の水位は低下傾向を示すようになってきた。

1982年水位低下の傾向が一層明確になり、可及的速やかにアリコータ湖への水補給を実現し、発電、灌漑用水の確保の必要性に迫られたペルー政府は、日本政府に対し水補給計画のF/S調査についての技術協力を要請してきた。この要請に基づき、JICAは「アリコータ湖水補給及びアリコータ第3水力発電開発計画(1983年)」に関するフィージビリティ調査を実施した。

同調査の結果をふまえ、1986年、ペルー政府はアリコータ湖水の確保のために他の流域からの導水を行う次のアリコータ湖補水計画を作成した。

■ ヴィラコータ湖取水計画（計画取水量 400 l/sec）

本計画は日本政府の無償資金協力による資機材の調達が行われ1994年に完成しているが、降雨の減少等によるヴィラコータ湖の水位の低下が著しく現在は運転を停止している。

■ コビレ湖取水計画（計画取水量 3,660 l/sec）

流域住民との水利権問題が未解決のため供用の目途は立っていない。

■ ビスカチャス高原地下水取水計画（計画取水量 700 l/sec）

ビスカチャス高原に10本の深井戸を建設して、アリコータ発電所の電力を活用して地下水を汲み上げ開水路へ集めマタサス川へ放水する。更に、カヤサス川を流下してアリコータ湖へ補水する計画である。

上記の状況において、ペルー政府は緊急的に安定した取水が出来る計画として、ビスカチャス高原地下水開発計画を実施するために必要な資機材の調達について、日本政府に無償資金協力の要請をしてきたものである。

対象地区及び要請の内容は次の通りである。

対象地区:

タクナ県に位置するアリコータ湖およびビスカチャス高原である。

要請内容:

a) 取水施設用資機材

700 l/sec の取水に必要である、5 本の井戸を対象とした取水ポンプおよび送水管等の資機材。

b) 変電所関連資機材

アリコータ発電所近くに位置する 66/33 kV サリタ変電所の拡張および 33/10 kV ビスカチャス変電所の新設に必要な資機材。

c) 送電線関連資機材

サリタ変電所とビスカチャス変電所を連携する、亘長 60 km の 33 kV 送電線建設に必要な資機材。

d) その他

揚水試験機器(揚水ポンプ、発電機)、水質検査器等。

1994 年、日本政府は要請に基づき、地下水開発のコンポーネントのみを対象として調査を実施した。しかしながら、揚水試験データ等先方提出資料では要請資機材の妥当性を確認することが困難であったこと、水利権等、計画実施のための前提条件が不明確であったことから、ペルー側と連絡をとりつつ国内作業で対応策を検討した。1996 年 8 月、周辺状況の変化、要請内容の再確認を行うための事前調査を実施し、水利権等、本件実施のための諸条件の整理を行った。事前調査の結果を受け、日本政府は基本設計調査の実施を決定し、国際協力事業団(JICA)は基本設計調査団を 1998 年 8 月 30 日より 9 月 28 日までの 30 日間、ペルー国へ派遣した。調査団はペルー国側の当該計画の実施機関である国家開発庁(INADE)および INADE の地方実施機関であるタクナ特別プロジェクト部(PET)と協議を行い、計画地区の現況、既設井戸の位置・現況、変電所の位置、送電線のルート、PET の維持・管理計画等を調査するとともに、計画の妥当性の検証と基本設計を実施するために必要な資料の収集を行った。帰国後、調査団は基本設計に着手し、その成果を基本設計調査概要書に取り纏め、1998 年 11 月 15 日から 26 日までの期間においてペルー側に説明を行った。

尚、調査団リスト、調査日程、相手国関係者リスト、議事録、収集資料 1~6 などは添付資料に示す通りである。

1-2 調査対象地区の概要

ペルー国は南アメリカ大陸の太平洋沿い南緯 0 度 48 分~18 度 21 分、西経 81 度 21 分~68 度 40 分に位置しエクアドル、コロンビア、ブラジル、ボリビア、チリと国境を接している。東西の最大距離は約 1,400 km、南北の最大距離は約 2,000 km、である。国土面積は 128.5 万 km²であり、

日本の約 3.4 倍に当る。ペルーの北東部はアマゾン側の密林地帯であり、沿岸地帯をのぞいた中央と南東部は海拔 5,600 m を超えるアンデス高地となっている。気温の差は高度により、また日中と夜間とで大きく、フンボルト海流の影響で 30°C を超えることは少ないが、氷点下 10°C に下がることもある。ペルー国の総人口は 25.6 百万人で、首都リマの人口は 641 万人である

1990 年はじめ、ペルー経済はハイパーインフレーション、急激な生産性の低下、テロ活動の悪化に象徴される深刻な経済危機に直面していた。この年発足したフジモリ政権は徹底した経済基盤の整備を実施し、1990 年に 7,650% であったインフレ率は 1996 年には 12% まで低下した。1993 年には、国営企業の民営化などを含む総合的経済 3 ケ年プログラムを実施し、その結果 3 年間の経済成長率は年平均 8.5% を記録した。

タクナ県はペルー国の最南端部に位置し、ボリビア、チリと国境を接している。タクナ県は行政上タクナ(Tacna)、タラタ(Tarata)、バサドレ(Basadre)、カンダラベ(Candarave)の地区からなっており、本計画の対象地区となるビスカチャス高原はカンダラベ地区のプロ県との県境に、またアリコータ湖はカンダラベ地区に位置している。計画地区の位置を図 1-1 に示す。

1997 年、タクナ県の人口、面積は表 1-1 に示す通りである。

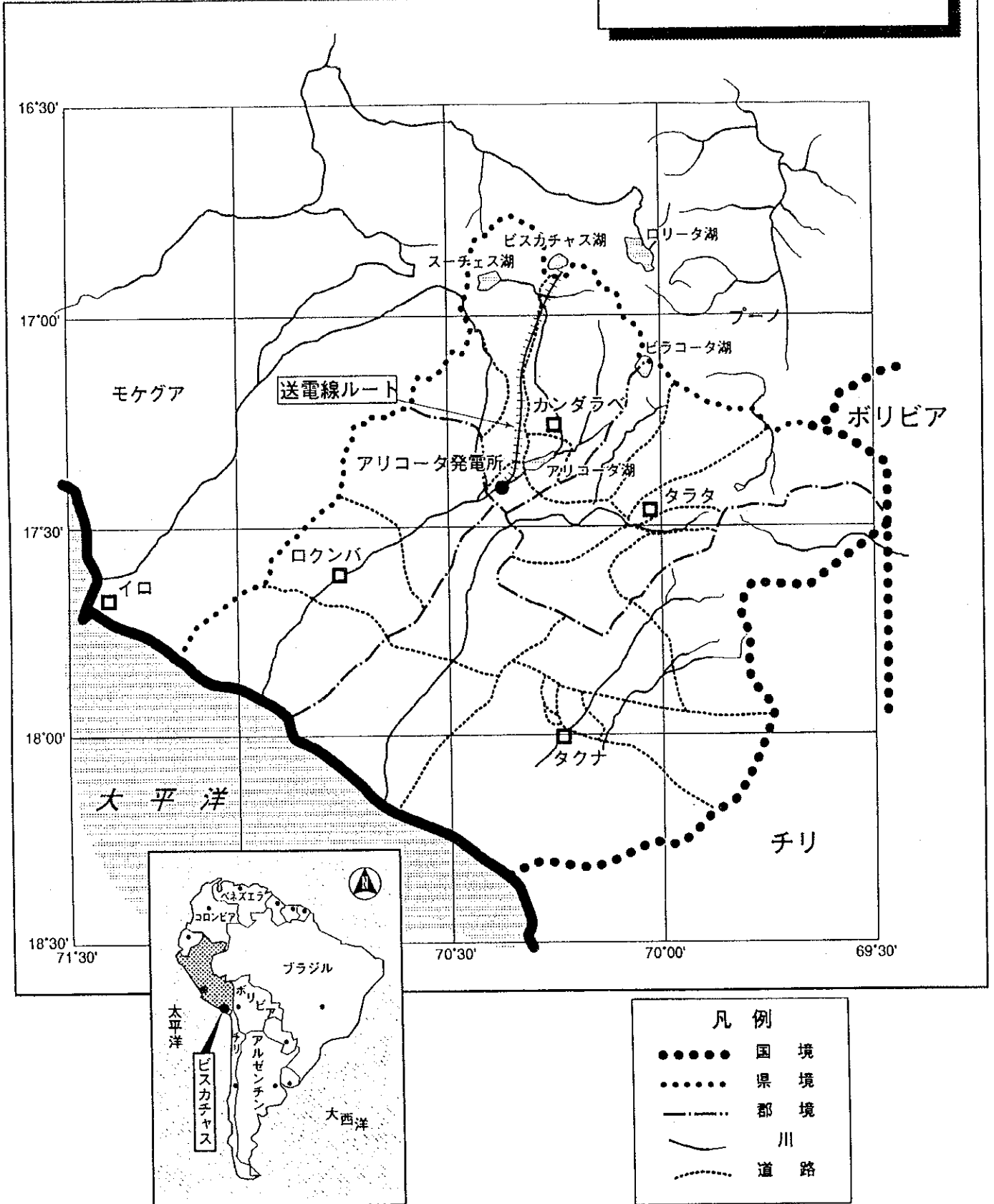
表 1-1 タクナ県の人口と面積

地 区	人 口	面 積 (km ²)	人口密度 (人/km ²)
タクナ	224,950	8,066.11	27.89
タラタ	8,082	2,819.96	2.87
バサドレ	11,314	2,928.56	3.86
カンダラベ	9,271	2,261.10	4.10
合 計	253,617	16,075.73	15.78

(出典：ペルー統計院)

ビスカチャス高原地帯は、標高 4,000 m から 4,800 m 程度のシエラ（山岳・高原地域）であり、ロリスコータ湖（標高 4,549 m）、ビスカチャス湖（標高 4,575 m）、スーチェス湖（標高 4,450 m）などが散在している。高原周辺には標高 5,000 m～6,000 m におよぶ高山がそびえ、この地帯における年間 400 mm～600mm の降雨は、タンボ川、アリコータ湖（ロクンバ川）、イラベ川などの源流域を形成している。アリコータ湖は、南緯 17 度 20 分、西経 70 度 17 分、標高 2,800 m のアンデス山脈西斜面に位置する自然湖である。アリコータ湖の水はポンプで揚水して放流され、下流の 2 ケ所の発電所を稼働し、流域の農地（4,300 ha）を潤し、最終的にはイロ市の生活用水として利用され、6 万人の生活を支えている。現在（1998 年 9 月）湖面は、かつての 90 m 程にも低下している。ペルー国の主要指標を資料-4 に示す。

図 1-1 計画地区位置図



第2章

プロジェクトの周辺状況



2. プロジェクトの周辺状況

2-1 当該セクターの開発計画

2-1-1 上位計画

(1) 本計画と上位計画との関連

ペルー国では、水資源に関する国家レベルの長期開発計画は実施されておらず、各セクターが 2000 年を目指した中期事業計画を策定している。電気事業に関しては、エネルギー・鉱山省が国家電化計画 (Plan de Electrificación Nacional 1998-2000) を作成しており、これによると 2000 年までに、47 の送電線、254 の配電拡張プロジェクトまた 61 箇所の小水力開発計画が予定されている。

これらのセクターの事業計画とは別に、自然災害復旧や緊急時の対策機関として 1983 年に政令 261 号により発足した大統領府直轄の国家開発庁 (INADE) は、特に重要な海岸地区、山岳地、森林地域の水資源開発を行っており、他の国家機関とは独立した組織や制度で計画・運営を行っている。

1984 年には、重要法令 047-844-PCM 号「タクナ・モケグア県の水資源確保と拡張」(Decreto Supremo No.047-844-PCM)が発令され、さらに 1987 年には重要法令 024-87-MIPRE 号「タクナ県の水資源確保と拡張」(Decreto Supremo No. No.047-844-PCM)が発令された。INADE はこれを受け、次なる基本計画を策定した。

- 1) アリコータ湖の湖水確保
- 2) ビスカチャス高原の地下水の導水
- 3) コビレ隧道による導水
- 4) ビラビラニ計画

これらの計画は、アリコータ湖の枯渇の回避が目的である。アリコータ湖が枯渇すれば、同湖の水資源に電力及び水道供給を依存しているタクナ市及びイロ市の都市機能に大きな障害をもたらし、周辺農村地区においても灌漑水の不足から農業生産に被害をもたらすことは必至である。

本計画は、上記基本計画のうちの 1) 及び 2) を包括するもので、緊急性の高い計画として、位置付けられている。

(2) 関連開発計画

本計画に関連するタクナ県の水資源開発計画を以下に示す。

■ ビラコータ湖取水計画 (計画取水量 400 l/sec)

ビラコータ湖の水を取水し、20 km の水路によりカノ川へ導水し、イチコヨ隧道を通じてア

リコータ湖へ補水する計画である。1994年、日本政府の無償資金協力による資機材調達により、ピラコータ流域の地下水を揚水してピラコータ湖へ補水する計画（揚水設備容量 550 l/sec）が完成しているが、降雨の減少等によるピラコータ湖の水位が著しく低下し（当初水位より 1.05 m 低下）、現在は運転を停止している。PET は揚水した地下水をアリコータ湖に通じる水路に直接送水するための水路を完成させ、1998年10月から運転の再開を計画している。

■ コピレ取水計画（計画取水量 3,100 l/sec）

チチカカ湖へ流入するコイパコイパ川、チャ川、およびロリスコータ湖へ流入するロリスタ川、プティヤネ川から取水して、全長 154 km の水路、コピレ隧道およびイチコヨ隧道を通じてアリコータ湖へ補水する計画である。

現在、アリコータ湖からイチコヨ隧道（延長 682 m）、コピレ隧道（延長 8.5 km）までは工事が完成してアンコワケ川からの取水が可能となったため、約 400 l/sec がアリコータ湖へ導水されている。それ以降の導水路の工事については流域住民との水利権問題が未解決のため、実施の目途は立っていない。

■ ビスカチャス高原地下水取水計画（計画取水量 400 l/sec）

ビスカチャス高原の深井戸から取水された地下水は開水路に集められ、マタサス川へ放流される。さらにカヤサス川を流下しアリコータ湖に流入する。

現在、10本の井戸と必要水路長 11.7 km のうち 5.6 km が完成している。

■ ピラピラニ取水計画（計画取水量 2,300 l/sec）

湖（Casiri、Condopico）、川（Chungara、Inuma、Casillaco、Uchusuma、Maure）および Uchusuma 川と Maure 川流域の地下水を取水して、一部チリ国内を経由する約 180 km の水路を経てタクナ市の生活用水及びタクナ溪谷の農業用水に供する計画である。現在水路の約 40% が完了済みである。

2-1-2 財政事情

ペルー国の会計年度は1月から12月迄である。INADE 及び PET の年間予算は表 2-1 に示す通りである。

表 2-1 年間予算額 (単位: x10³ ソル)

年度	国家予算	INADE	国家予算に対する INADE 予算の割合	PET	INADE 予算に対する PET 予算の割合
1996	22,262,733	133,600	(0.6 %)	26,720	(20.0 %)
1997	24,765,358	295,564	(1.2 %)	29,556	(10.0 %)
1998	29,533,775	1,229,650	(4.2 %)	98,372	(8.0 %)

(出典: INADE)

INADE の年間予算金額は 1997 年度において前年度比 220% の増加、1998 年度においては 420% に急増している。この急増は、1997 年度よりペルーに豪雨をもたらしたエルニーニョ現象による自然災害の災害復旧費用によるものである。

1996 年度及び 1997 年度における、PET の予算実績は表 2-2 に示す通りである。

表 2-2 PET 予算実績 (単位: $\times 10^3$ ソル)

年度	人件費	一般経費	建設工事費	設備費	合計
1996	9,674	2,017	13,317	591	25,599
1997	10,461	2,766	14,613	761	28,601

(出典: INADE)

1996 年度の予算に対する実績の達成率は 95.8%、1997 年度は 96.8% である。

2-2 他の援助国、国際機関等の計画

国家開発庁 (INADE) が過去 5 年間に援助を受け、実施中または準備中の計画を以下に示す。これらはいずれも、自然災害、緊急時の対策または重要水資源開発に関する計画である。

表 2-3 他の援助国、国際機関等の計画

プロジェクト名	援助国/ 国際機関	金額	期間
マーヨ灌漑用貯水池計画 (アレキーバ)	英国	ECU 1,000,000	1994-1998
第 3 期ワルワル農業推進計画 (プーノ)	スイス	US\$ 950,000	1995-1999
サンイグナシオ・バグア地方支援計画 (サンイグナシオ、バグア)	ドイツ	DM 1,603,452	1997-1999
アルトマーヨ水利用改善計画 (サンマルチン)	ドイツ	DM 250,000	1998-1999
アマゾン国境地域開発調査 (ボリビア、ブラジル、コロンビア、 ペルーの国境地帯)	OAS (米国)	US\$ 500,000	1999
リマック川洪水対策調査(F/S) (リマック川、クエンカ)	IDB	US\$ 740,000	1997-1999

(出典: INADE)

2-3 わが国の援助実施状況

フジモリ政権以前、IMF はペルーの債務不払いを理由に『融資不適格国』と格付し、世銀もデイスバースを中止するなど、ペルーは国際融資社会から孤立していた。フジモリ政権となって、1991 年、日米のイニシアティブによりペルーに国際融資が再開され、ペルーへの ODA 総額は 1991 - 1995 年にかけて年間 4 億から 6 億ドルであった。日本のペルーに対する経済・技術協力の内訳

は表 2-4 に示す通りである。

表 2-4 経済・技術協力の内訳

有償協力 (97 年 9 月までの累計)	総額	2,604.28 億円
無償協力 (96 年度までの累計)	総額	433.22 億円
技術協力 (96 年度までの累計)	総額	347.21 億円
	専門家派遣	656 人
	研修員受入	3,164 人
	調査団	1,574 人
	協力隊	205 人
	機材供与	6,206 人
	プロ技	11 件
	開発調査	44 件

(出典：在ペルー日本国大使館作成資料)

ピラコータ湖取水計画において、1992 年に日本政府の無償資金協力 (1991 年度、2.45 億円) が実施された、ピラコータ流域の地下水を揚水してピラコータ湖へ補水するための揚水施設の資機材調達で、資機材以外の費用はペルー国の自己資金で賄われた。

2-4 プロジェクト・サイトの状況

2-4-1 自然条件

(1) 気象

タクナ県の気象状況

タクナ県の気候は、可能蒸発量が降水量を格段に上回る乾燥気候地域となっていることと、沿岸域～低山地とアンデス高原とで気象条件が大きく異なることを特徴としている。沿岸域～低山地においては、平均気温が約 14～20℃、平均最高気温が約 20～24℃、平均最低気温が約 8～14℃であり、気温は比較的温暖である。しかし、年降水量は約 50mm 以下しかないのに対し、年間可能蒸発量は約 800～1,600 mm と降水量の約 16～32 倍もあり、砂漠気候となっている。このため自然植生は極めて乏しく、農業は灌漑に依存せざるをえない。

一方、標高が約 4,000～5,000 m にも達するアンデス高原においては、気温は寒冷となり、平均気温が約 4～10℃、平均最高気温が約 14～18℃、平均最低気温が約 -6～2℃である。年降水量は沿岸域～低山地よりも多く約 300～400 mm であり、年間可能蒸発量は約 1,200～1,800 mm となっている。気候学的にはステップ気候に該当しており、草原が発達している。

ビスカチャス高原の気象状況

取水設備を設置するビスカチャス高原は、アンデス高原の最高部に位置しており、標高が約 4,600m もあるため、乾燥した寒冷気候となっている。ここでの気象状況を表 2-4 に示す。

当高原における最低気温の月間平均値は、南半球の冬である 8 月に約 -15℃ と最も低くなる。しかし、最高気温の月平均値は、南半球の夏に高くなるのではなく、冬である 7～8 月に最も高

表 2-5 VIZCACHAS 高原の気象状況

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計(平均)
最高気温(°C)	[13.7]	[13.5]	[13.9]	[12.9]	19.0	15.0	20.0	20.0	[13.1]	[14.6]	[15.1]	[14.5]	[13.4]
最低気温(°C)	[-2.9]	[-1.9]	[-2.7]	[-5.3]	-14.0	-13.0	-12.0	-15.0	[-9.4]	[-8.4]	[-6.5]	[-4.2]	[-7.0]
平均気温(°C)	13.1	12.8	13.2	13.6	12.8	11.4	11.3	12.1	12.9	14.2	14.6	13.9	(13.0)
湿度(%)	18.58	18.95	18.45	17.12	16.25	15.84	16.15	15.31	15.70	14.83	16.05	17.63	(16.74)
降水量A(mm)	116.2	98.5	82.1	29.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.9	2.7	20.6	72.9	430.2
降水量B(mm)	119.96	102.62	77.19	19.82	5.36	5.30	1.95	7.26	7.09	15.36	31.15	61.04	454.10
蒸発量A(mm)	107.0	116.3	104.0	104.3	101.8	90.2	99.5	107.5	121.5	131.5	112.8	99.8	1296.2
蒸発量B(mm)	117.04	124.76	102.77	94.80	109.01	87.89	82.00	94.17	124.98	138.90	116.92	123.02	1316.26

注1: "最高気温"と"最低気温"の[]内の数値は、Vizcachasでの観測記録がないため Suches における実測値を使用。

他は Vizcachas における実測値。

注2: "平均気温"と"湿度"は、資料(1)より転載。

注3: "降水量A"は、VIZCACHAS 観測点における1994年1月~1996年3月の実測平均値。(資料(1)より)

注4: "降水量B"は、Suches と Pasto Grande の1965~1992年の実測記録にもとづいて算出された値。(資料(2)より)

注5: "蒸発量A"は、VIZCACHAS 観測点における1991年3月~1997年3月の実測平均値。(資料(1)より)

注6: "蒸発量B"は、気温等から求められた計算値。(資料(2)より)

参考資料;(1) ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS CUENCAS-AMBITO PET (1988, PET)

(2) Vizcachas 高原の水収支計算が行われた際の基礎資料(1994, PET)

くなり、約 20°C である。このように、最低気温と最高気温のピークが共に「冬」に出現するため、平均気温の季節差は小さく、「夏」である 11~12 月の平均気温は約 14~15°C であるが、「冬」である 6~8 月においても約 11~12°C となっている。

なお、上述した最低気温(約 -15°C)は最低気温の月平均値の中での最低値であり、日最低気温はさらに低く、約 -15~-20°C 近くにまで低下することがあることに留意する必要がある。

湿度は年間を通じて非常に低く、約 15~20% しかない。

年間降水量は約 430~450 mm であるが、蒸発可能量は年間約 1,300 mm もあり、降水量は蒸発可能量の約 3 分の 1 しかない。降水量には明瞭な季節変化が認められ、6~9 月には月間降水量が 0~1 mm しかないのに対し、1~2 月の月間降水量は約 100~120 mm である。蒸発可能量には明瞭な季節変化はなく、月間約 90~130 mm 程度である。

(2) 地形・地質概況

タクナ県は、地形・地質学的に次の 4 地域に区分される。

海岸山脈； 海岸に沿って発達する山脈であり、中世代三畳紀~ジュラ紀の堆積岩とカコウ岩類によって構成されている。

アンデス前縁平地； 海岸山脈と西アンデス山脈に挟まれた標高約 200~2,000 m の低山地~丘陵~低地からなる地帯であり、低山地~丘陵は古第三系(漸新統)~新第三系(中新統)、低地は第四紀沖積層からなっている。この地帯はアンデス山地から運搬された土砂が堆積した地域であり、レキなどの粗粒堆積物が優勢的に分布している。

西アンデス山脈； 標高約 3,000~4,000 m の急峻な山岳地帯であり、アンデス山地の基盤岩である中生代ジュラ紀~白亜紀の堆積岩とカコウ岩類が分布している。

円錐状火山帯； 西アンデス山脈の頂部に位置し、標高約 4,200~4,800 m の高原地帯の中に円錐状の火山体が散在する。高原は第三紀~第四紀の火山噴出物から構成され、これを氷河起源の堆積物や草原堆積物が被覆している。円錐状火山は第四紀に噴火したものである。

ビスカチャス高原は西アンデス山脈頂部の「円錐状火山帯」に位置しており、設備設計に際しては、標高が約 4,600 m もある高地であることに留意する必要がある。アリコータ湖やアリコータ発電所は「西アンデス山脈」に位置しており、ここでも標高が約 3,000~4,000 m もあることと、一部に急峻な地形が発達していることに留意する必要がある。

なお、タクナ、ロクンバなどの主要都市や農業地帯の多くは「アンデス前縁平地」に位置しているが、港町であるイロ市は「海岸山脈」に属している。

(3) ビスカチャス高原の地質

ビスカチャス高原の基盤岩は中生層の Toquepala 系からなっており、これを被覆して第三紀~

第四紀の堆積層(主に火山起源堆積物)が高原地形を形成して分布している。この高原にそびえる円錐状火山群は第四紀に噴火した Barroso 層群からなっている。円錐状火山の裾部には粗粒な氷河堆積物(モレーン)が分布し、低地部は粘土質の融水流堆積物で覆われている。

第四紀洪積統の Capillune 累層と第三紀鮮新統の Maure 累層は、当地のアンデス山地全体に広がる地下水帯水層を形成している。また、高原の低地部に分布する粗粒な氷河堆積物も局所的な帯水層となっている。

これらの地質層序を、表 2-6 に示す。

表 2-6 ビスカチャス高原の地質層序

時代	地層名	構成物質	層厚	水理特性
沖積世	草原堆積物	粘土質堆積物	極薄	難透水性
第四紀 洪積世	氷河堆積物	モレーン(粘土、シルト、細～粗砂、レキ、巨レキ) 融水流堆積物(粘土質)	100 ~ 171 m	透水性良好 下位層をかん養
	BARROSO 層群	火山岩類(粗面安山岩、同質火山碎屑物)	多様	亀裂などを通じて下位層をかん養
	CAPILLUNE 累層	固結～半固結状の碎屑堆積物(粘土、シルト、砂、レキ、集塊岩、凝灰岩)	250～450 m 以上	透水性良好、準被圧帯水層を形成
	SENCCA 累層	流紋岩質凝灰岩	80 ~ 120 m	難透水性
第三紀 鮮新世 中新世	MAURE 累層	固結した碎屑堆積物(砂質凝灰岩、砂岩、レキ岩)	150 ~ 500 m	透水性良好、被圧帯水層を形成
	HUAYLILLAS 累層	凝灰岩	50 ~ 300m	基盤岩(不透水性)
	BOTIFLACA 粗面岩	粗面岩 基底レキ岩	100 ~ 200m	基盤岩
中世代	TOQUEPALA 系			

(出典: EXPLOTACION AGUAS SUBTERRANEAS CUENCA LAGUNA VIZCACHAS, PET, 1994)

(4) ビスカチャス高原の水理地質

ビスカチャス高原においては、PET によって、これまでに約 40 本の調査ボーリングや地下水観測井が掘削され、地質構造や水理機構、地下水位変動などが調査・観察されてきている。

これらの調査結果にもとづいて、ビスカチャス高原における水理地質状況を検討した結果を以下に記す。

(a) ビスカチャス高原は、ビスカチャス湖を囲むようにして低地が広がり、その 3 方を火山

体によって囲まれた「盆状」の地形を呈している。このように「閉じた地形」となっているため、通常は、当高原外から当高原に流入する河川は皆無であると共に、当高原の外部に流出する河川も皆無である。つまり、地表水は当高原内に閉塞されている。

- (b) 当高原のほぼ中央部にあるビスカチャス湖は、当高原内の降水(雨と雪)と地下水(これも降水によってかん養されている)によってかん養されているが、湖水面からの蒸発によって湖水が消費されることにより湖水量が自然調整されているため、湖水の表面流出は生じていない。
- (c) 当高原の帯水層は、低地の地下に分布する粗粒な氷河堆積物、その下位の Capillune 累層、さらに下位の Maure 累層から構成されている。Capillune 累層と Maure 累層との間には難透水性の Sencca 累層が挟在しており、下位の Maure 累層は被圧地下水の帯水層となっている。既往調査においては、上位の Capillune 累層中の地下水も「被圧地下水」とみなされているが、ボーリング調査結果を検討すると、この帯水層とこれを被覆する氷河堆積物との間には明瞭な難透水層は確認されていないことから、Capillune 累層と氷河堆積物とは水理的に連続している、つまり、両地層中の地下水は基本的には不圧地下水であるものと判断される。
- (d) ビスカチャス高原における地下水の水位は、当地の地形とほぼ同様に、周囲の火山体で高く、ビスカチャス湖付近で低い勾配を呈している。つまり、全般的には、当高原の中央部に向うような動水勾配となっており、地表水と同様に、地下水も基本的には「閉塞系」としての特徴を示している。ただし、地下水観測井の大部分で観測される地下水位は、氷河堆積物および Capillune 累層の地下水位であり、Maure 累層の地下水位を反映したものではない。したがって、Maure 累層までもが「閉塞系」であるか否かは定かではない。(揚水用井戸は、氷河堆積物と Capillune 累層の中に掘削されており、Maure 累層にまで達しているものは皆無である。)
- (e) 当高原の地下水位の経時的变化は、高原縁部を除き、最大約 3.5 m、一般に 1~2 m 程度にすぎない。また、地下水位変動の季節的規則性(降水量との相関)は認められない。これは、当高原の地下水は基本的に常時「満水」状態にあるとする既往調査結果における指摘(1991 年報告書)に合致している。揚水によって地下水位が大幅に低下することがあれば、降水量の一部は地下水をかん養すること使われるであろうが、これまでは、降水の大部分は最終的には蒸発~蒸発散によって「消費」されてきているものと考えられる。

2-4-2 社会基盤整備状況

タクナ県は、年平均 5~6% というペルーで最も高い人口増加地域であるが、水資源およびエネルギーの不足により社会経済の発展に大きな障害が生じている。また、タクナ特別区(無関税による自由市場)とイロ港自由工業地区の設置により地域開発の大きな可能性もあるが、現実には水資源の不足によりその開発に制限を受けている。タクナ及びイロ市とも上下水道は 80~90% と普及しているが、6 時間~14 時間の制限給水となっている。

タクナ県の通信網は、国際電話、ファックス等の国際直接ダイヤル回線サービスが行われており、またインターネットの使用も可能である。テレビ放送は国営の一局のみ受信可能であるが、

衛星放送の利用により CNN その他の国際テレビ放送が一般家庭でも受信できる。

首都リマとタクナ市との間には国内航空路線が一日 3 往復運行されている、陸上交通としてはパンアメリカン・ハイウェイがタクナ、リマを經由してペルーの南北を縦断している。さらに、タクナ市とチリのアリカ市のあいだに一往復/日の鉄道が運行されている。

アリコータ第 1・第 2 発電所からアリコータ湖畔を通りビスカチャス高原に至る道路は、舗装はされていないが、通常の自動車による走行は十分に可能である。

タクナ及びイロ市を含むペルーの南部地域の電力供給は、南部電力系統より安定した電力が供給されている。南部電力系統は地形的要因により、北部・中央電力系統と連携はされていないが、現在 2000 年の完成を目標に連携工事が行われている。

2-4-3 既存施設・機材の現状

(1) ビスカチャス高原

ビスカチャス高原は周囲を火山体に囲まれ中央部が盆地状の低地となった地形を呈しており、標高は低地部で約 4,600 m、ビスカチャス山頂で約 5,400m ある。火山体と低地との中間地帯には氷河によって運搬されたレキ質堆積物が丘陵状に分布している。低地の中央にはビスカチャス湖が形成されているが、調査時点(1998年9月4日)では、ビスカチャス湖の水は完全に干上がっていた。ただし、湖の縁辺地帯に分布する湿地は枯れておらず、近年まで繁茂していた植生が死滅している地帯は観察されないことから、湖中央部における地下水位は湖底直下付近にあり、さして大きな水位低下は生じていないものと推察される。

ビスカチャス高原内の主として低地と氷河堆積物分布域には、PET(および一部 SPCC)によって 42 本の試験孔と 10 本の揚水用深井戸(深度 217~330m)が掘削されている。試験孔のうち 27 孔にはフィルターを施したケーシングが施され、水位観測井として使用されている。揚水用深井戸のうち PV-2 と PV-3 の 2 井には、ディーゼルエンジン駆動の縦軸型深井戸用ポンプが設置され、それぞれ 130 l/s、100 l/s、計 230 l/s の揚水がおこなわれている。揚水された水は、PV-2 では自然流下により、PV-3 では送水管によって臨時水路に流入し、当高原の南端でカヤサス川の支流であるマタサス川に放流されている。この計 230 l/s の取水は、昨年末にアリコータ湖の水位が限界水位近くにまで低下したことにに対する応急処置として実施されているものであり、日本政府による機材調達が行われるならば、既設ポンプ設備は撤去され(電動式ポンプではないため電力稼働する供与ポンプとの併用はできない)、計 230 l/s の取水に対応した容量しかない臨時水路に替わって新しい水路が建設されることになる。

既設ポンプの仕様は次の通りである。

表 2-7 既設ポンプの仕様

機器名・仕様	No. 2 井戸	No. 3 井戸
ポンプ		
形式	縦軸多段タービンポンプ	
メーカー名	HIDROSTAL	
型式	CABEZA/GP152	CABEZA/GP150

ディーゼルエンジン	水冷式直列エンジン	
形式	ボルボ	
メーカー名	ボルボ	
型式	TWD-710G	TWD-710G
出力 (kW/hp)	169/230	169/230
回転数 (rpm)	1,800	

ビスカチャス湖の北側には鉱山会社(SPCC)所有の揚水井があり、約 40 l/s の取水がおこなわれていることを確認した。

ビスカチャス高原の低地部は3家族の私有地となっているため、ここでの送水管設置や水路建設に対する地権者への補償が必要であるが、この交渉は順調に進行しているとのことであった。

(2) アリコータ湖

アリコータ湖は斜面の大規模崩壊によって形成された自然のせき止め湖であり、自然漏水はあるものの、湖から下流に流れる自然水路はない。ポンプ揚水によって湖から取水された水は水路トンネルに放流され、発電用と灌漑用に使われている。水路トンネルは、当初は標高 2839.73m の位置に設けられていたが(1967年建設)、湖の水位が低下するにしたがってより低い標高に建設され、現在は標高 2755.00m にある第5トンネルが使用されている(1992年建設)。このように、アリコータ湖の水位は、利水が行われるようになった約30年間に約90mも低下してきている。

アリコータ湖の水量は依然として減少しつつあり、アリコータ第1・第2発電所における水力発電や下流での利水に問題を生じている。

アリコータ湖の水量は、1967年には約700MCM(約700,000,000立方メートル)あったものが、その16年後の1983年には半分の約350MCMに減少し、1991年末には1967年時の10分の1しかない約70MCMとなった。1996年末から1997年には、湖からのポンプ揚水の可能限界水量である40MCMを切って、湖水量は約20~30MCMにまで低下し、発電と利水に重大な危機をもたらした。このため、湖の水量を人工的に増加させるための緊急措置が講じられることになり、ビスカチャス高原に掘削されている揚水用深井戸の2箇所からの緊急的取水が計画された。しかし、1997年末にエル・ニーニョ現象の影響により例年を上回る降水があり、湖の水量が約50MCMにまで増加したため、この計画の実施は1998年まで延期された。

現在は湖からの揚水量は1,050 l/sに制限され、ビスカチャス高原から約230 l/sの水が放流されるようになったが、依然として湖の水量は減少しつつあり、1日に約1cmずつ水位が低下している。このままでは湖の水量は数年の後に再び揚水可能限界水量を下回ることが確実である。

(3) アリコータ水力発電所

アリコータ発電所は、上流側のNo.1発電所(出力23.8MW)と下流側のNo.2発電所(出力11.9MW)からなり、それぞれ1967年及び1966年に日本の協力により完成した。アリコータ発電所の総発電設備容量は35.7MWで、66kV送電線を介して南部電力系統(EGESUR)に接続されており、タクナ市周辺のピーク負荷を担っている。また、発電所は132kV送電線によりトケパラ変電所にも接

続されており、この変電所を介して南西部電力系統(EGASA)および南東部電力系統 (EGEMSA) との連携が構成されている。

アリコータ発電所の水源は、第1発電所から約10km上流にあるアリコータ湖で、湖水はポンプで汲み上げられ、取水トンネル、貯水槽を経て発電所に導水されている。図2-1にアリコータ発電所の概要を示す。

発電設備はEGESURにより適切な維持管理が行なわれており、建設時より30年経ているもの際立った老朽化はみられない。また、発電所は1998年にエルニーニョ現象に起因する土石流災害を受けたが、電気設備はABBに、水車・機械設備はマチュピチュ電力公社に委託して補修を完了し、現在の運転状態は良好である。マチュピチュ電力公社(EGEMSA)は、ペルー随一の水車・機械設備の技術者を確保しており、ランナー、ニードル弁等の補修能力も有している。

タクナ地区の南部電力系統の電源としては、アリコータ発電所35.7MWの他に、タクナディーゼル発電所2.5MW、カラナ火力発電所19.2MWがある。現在アリコータ発電所では、アリコータ湖の水位低下を抑えるため、計画発電を行なっており、最大平均使用水量を $1.05 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下に制限している。時間毎の最大発電電力量を表2-9に示す。

よって、図2-2に示すアリコータ発電所の日負荷曲線のとおり、アリコータ水力発電所は、南部電力系統のピーク電力のみを供給しており、ベース負荷はディーゼル及び火力発電によって賄われている。

計画発電により、設備容量に対する発電電力量を抑えているため、発電所としての稼働率が低く、南部電力系統の火力発電所の発電単価が $0.03\sim 0.035 \text{ \$/kWh}$ であるのに対し、アリコータ発電所の発電単価は $0.10 \text{ \$/kWh}$ 程度と割高である。

ビスカチャス高原の地下水をアリコータ湖に導水し、アリコータ水力発電所の発電電力を増すことにより、現在カラナ火力やタクナディーゼル発電所の担っているベース電力の一部を、アリコータ発電所に負わせることが可能となる。これによりカラナ火力、タクナディーゼル発電所の燃料消費を抑えるばかりでなく、アリコータ発電所の稼働率を向上させ、発電単価を抑える効果を得ることができる。

図 2-1 アリコータ発電所設備概要図

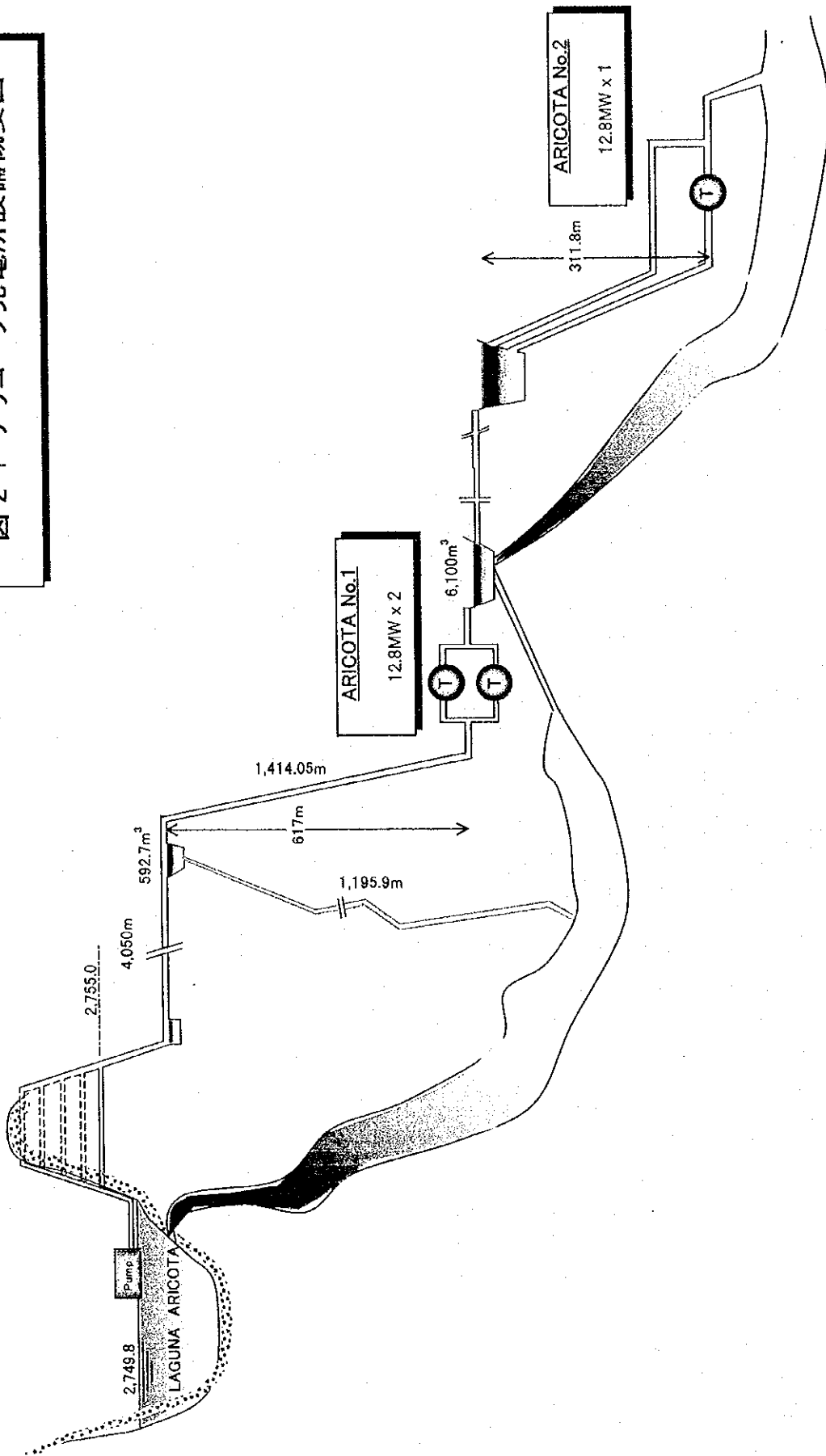


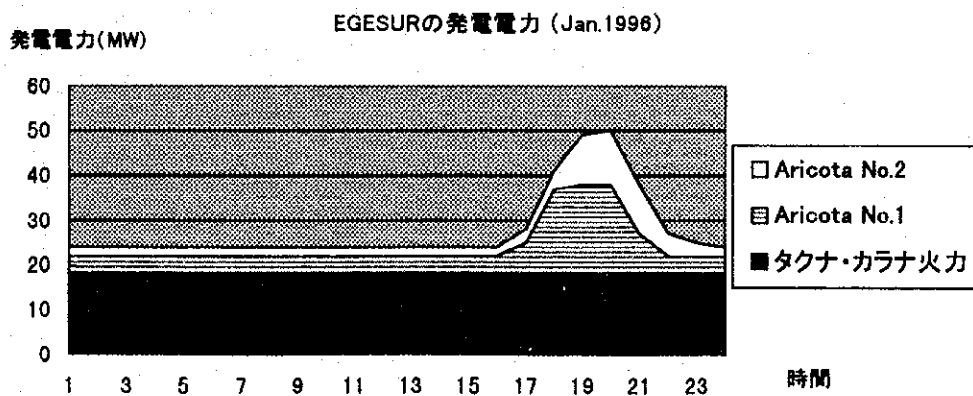
表 2-8 アリコータ水力発電所の既設設備

		アリコータ第一発電所	アリコータ第二発電所
1.	発電機		
	メーカー	東芝	富士電機
	出力	14,000 kVA	14,000 kVA
	電圧	11,000 V	11,000 V
	電流	735 A	735 A
	力率	0.85	0.85
	周波数	60 Hz	60 Hz
	回転数	720 RPM	514 RPM
	台数	2台	1台
2.	水車		
	メーカー	東芝	富士電機
	水車形式	縦軸ペルトン	横軸ペルトン
	出力	12,200 kW	12,200 kW
	落差	617.1 m	311.8 m
	流量	2.3 m ³ /sec	4.62 m ³ /sec
	回転数	720 RPM	514 RPM
	台数	2台	1台

表 2-9 計画発電電力

時間	発電電力 (MW)	時間	発電電力 (MW)
1	0-1	13	12-13
2	1-2	14	13-14
3	2-3	15	14-15
4	3-4	16	15-16
5	4-5	17	16-17
6	5-6	18	17-18
7	6-7	19	18-19
8	7-8	20	19-20
9	8-9	21	20-21
10	9-10	22	21-22
11	10-11	23	22-23
12	11-12	24	23-24

図 2-2 アリコータ発電所の日負荷曲線



(4) 農業灌漑用水

当地域は乾燥気候であるため、農業はその大部分が灌漑に依存せざるをえない状況にある。

Callazas 川流域における総農地面積は 17,035.61ha で、この約 60%にあたる 10,265.53ha の農地が灌漑されている。灌漑されていない「農地」ではほとんど農業はおこなわれておらず、これは「灌漑施設が設置されるならば農業が可能な土地」とみなすべきであり、実質的な農地面積はほぼ灌漑面積に等しい。図 2-3 に Callazas 川流域の灌漑系統を示す。

アリコータ湖よりも上流に位置する Candarave 地域は Callazas 川流域における最も広大な農業地帯となっており、Callazas 川本流の Coranchay 水門から取水された灌漑用水(計画取水量は最大 1600 l/s)によって 5,147.77 ha の農地が灌漑されている。アリコータ湖からの計画取水量 1,500 l/s のうち 180 l/s の水は、水路によって下流の Curibaya 地区に導かれ、187 ha の農地の灌漑に使用されている。この灌漑用水の残量はアリコータ第 1 発電所から放流された水と共にアリコータ第 2 発電所に導かれ、発電に使用された後に Callazas 川に放流される。これより下流にある Locumba 地区においては Callazas 川からの導水によって 1,258.64ha の農地が灌漑され、さらに下流の Ite 地区では Callazas 川から取水される人工水路によって 1,734.59ha の農地が灌漑されている。

上記した灌漑用水量は政府によって制定された灌漑用取水制限量であり、実際に取水できる水量は Callazas 川の水量やアリコータ湖からの取水・放水量に依存している。現在アリコータ湖からの取水量は計画取水量 1,500 l/s の約 70%にあたる 1,050 l/s に制限されているが、これは計画取水量に依存してきた下流の灌漑農業の存立基盤をおびやかすものとなっている。本プロジェクトによる地下水取水計画は、このような Callazas 川流域の灌漑農業の基盤を安定化させる上で重要な役割を果たすものである。

なお、限られた水資源を有効利用する上では、灌漑水の無益な損失を減少させることが肝要であり、灌漑設備の改良が待たれるところである。

灌漑農地の約 90%ではアルファルファが栽培されており、残りの約 10%の農地で主にメイズとジャガイモが栽培されている。アルファルファは家畜の飼料に用いられるものであり、実際には牧畜が主体産業となっている。Callazas 川流域で飼育されている家畜は、牛が約 27,000 頭で最も多く、ヒツジ約 23,000 頭、アルパカ〜リヤマ約 14,000 頭(主に上流域)、ヤギ約 6,000 頭、ブタ約 3,000 頭などである。

Callazas 川からの灌漑による受益農家数は流域全体で約 7 千戸である。灌漑施設利用農家は灌漑組織の基本単位である灌漑グループ (Comite Derigant) に組織され、その上位に灌漑水路単位の灌漑組合 (Comision de Regantes) が組織されている。更に一連の灌漑システムを単位としてユーザ地区管理委員会 (Junta de Usuarios) があり、これの全国組織も作られている。この農民組織を農業省タクナ農業局の出先機関である地区灌漑技術事務所 (Administracion Tecnica de Riego) が行政的に管理・指揮している。Callazas 川流域の灌漑は Locumba にある Locumba-Sama 地区灌漑事務所が管理している。

灌漑施設利用農家は、その灌漑農地面積に応じて水使用量を支払う。農業用水の使用量は地域によって異なっており、Callazas 川上流域の Candarave 地区では 1 ha 当り年間 18 ソレス、

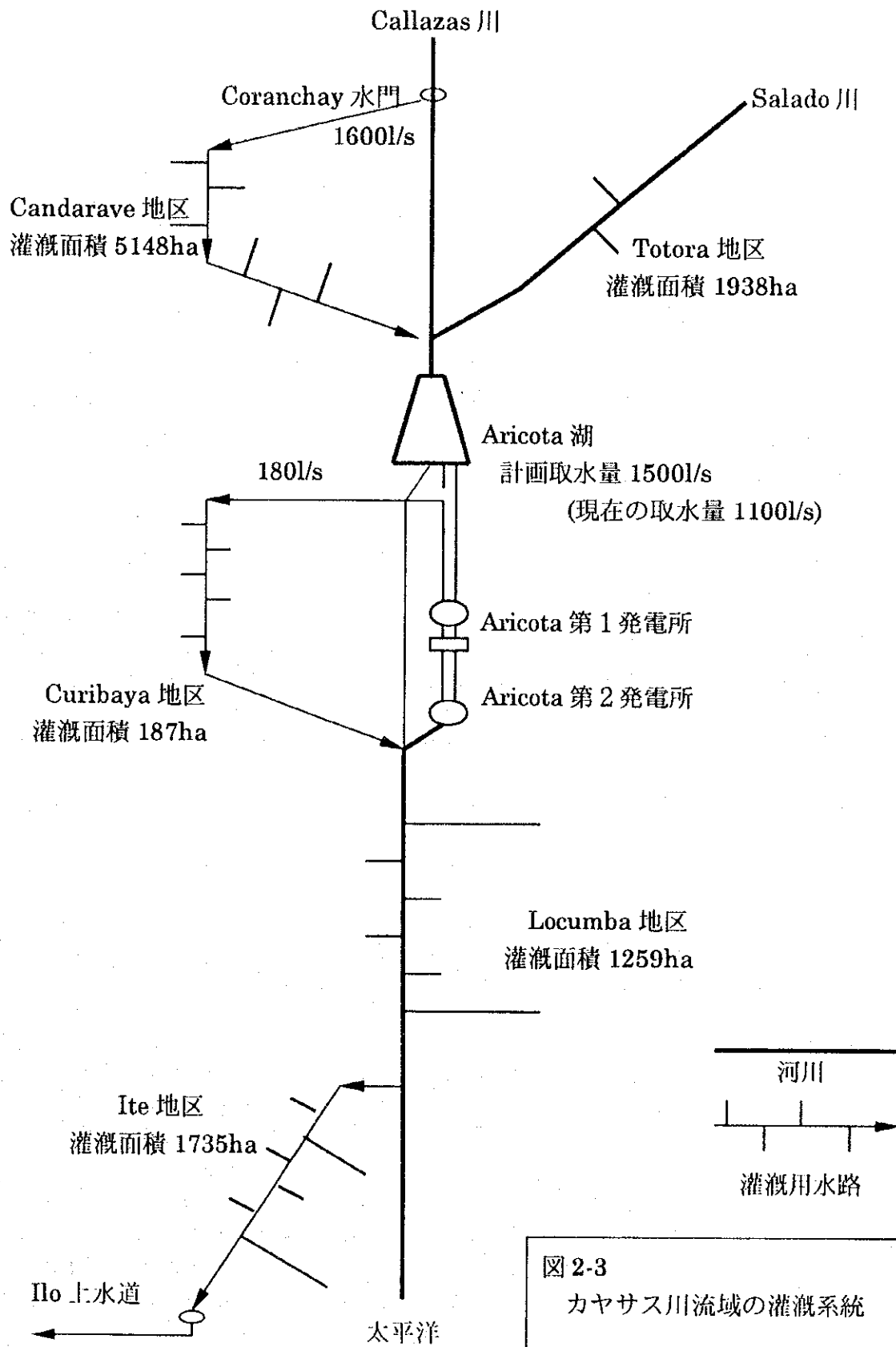


図 2-3
カヤサス川流域の灌漑系統

下流の Locumba 地区では 30 ソレスとなっている。徴収された料金の 15% が政府に納入され、残り 85% は農民組織によって灌漑施設の改修や組織運営のために使用される仕組みとなっている。

(5) イロ市生活用水

イロ市は太平洋に面したタクナ県第二の都市である。当地域はほとんど降雨のない乾燥気候であり地下水位が地下数十メートルと極めて低い上、水脈も限られている。また、イロ市近郊を流れる川も地上水はほとんどなく、水道水の供給は不可欠である。

イロ市水道公社は、アリコータ湖をその原水の供給源として、約 18,000 件の水需要をもつ約 60,000 人の市民に給水している。給水時間は区域によって異なり、1~5 時間/日であり、市民の生活に欠くことのできない水道供給に問題がある。ここ数年間は約 10 年前に農業省により決定された原水供給量が人口の増加にも関わらず増やされていないことや、水資源の枯渇等により、ペルーの国内基準が 250~300 l/人/日であるにもかかわらず、ここ一年間の平均では 100 l/人/日の供給に制限されている。

水道の供給不足により、イロ市の経済開発は影響を受けており、上記の不足分の全量とまではいかないが、イロ市は本プロジェクト完成による原水の供給増に期待を寄せている。

近年のラニーニャによる早魃とアリコータ湖水の減少に伴い、水道用原水の供給が少なくなり市民生活に更なる支障を来す恐れがあったため、緊急措置としてイロ市水道公社はイロ川の河川敷きに二本の深井戸を掘り、渇水時には一井あたり 40 l/s の汲み上げを行っていた。

原水には上流で自然に流入してくる 0.5 ppm の砒素が含まれており、それを FeCl_3 で化学処理して WHO(世界保健機構)の許容値の 0.05 ppm まで下げている。

(6) 環境への影響

1995 年 PET 内部に、環境配慮部が設立された。1995 年から 1997 年にかけて PET は水利工事を行う際に、その工事を行う地域に、どのような影響が出るかについての影響調査を実施した。現在調査結果の解析および影響を軽減するための計画を策定中である。

ビスカチャス湖は火山体に囲まれた盆地の中央に形成された湖で、降水の有無により湖水位を変動させ、低水位時には湖底が露呈する。湖岸には高地性の植物がわずかに点在し、アルパカやリヤマが放牧されている。周辺にはアルパカの放牧を生業とする民家が数件点在しているのみである。

本計画では、ビスカチャス湖周辺の地下水資源に否定的影響をおよぼすことのない取水量の策定を主眼に置いて調査を行ない、降水量と蒸発量のバランスの検討から取水可能量を 400 l/sec と結論づけた。さらに、今後 28 年間の湖水位変化をシミュレーションし、400 l/sec の取水では、湖水位の低下がないことを確認した。よって、本計画の取水によるビスカチャス湖周辺の植生への影響は考えられない。

また、現在 230 l/sec の取水がディーゼルエンジンポンプにより行なわれているが、これらのポンプが撤去され、取水設備が電化されることから、排気による周辺大気汚染や、燃料あるいは潤滑油の流出によるビスカチャス湖の水質汚染の可能性はなくなる。

さらに、本計画においては水中ポンプを使用することから、ディーゼルエンジンポンプに比べ、振動・騒音は小さく、住民及び家畜への影響は少ない。

上記のように、プロジェクトをとりまく自然環境と設備計画に関して、本プロジェクトにおいて、環境への影響を最小限に抑えるため対策は必要ないと判断する。