No. 7

グアテマラ共和国
アマティトラン地熱開発調査
予備調査報告書

平成10年8月

LIBRARY
J 1144801 [6]

国際協力事業団
鉱工業開発調査部

鉱調資
JR
98-129

グァテマラ共和国
アマティトラン地熱開発調査
予備調査報告書

平成１０年８月

国際協力事業団
鉱工業開発調査部

1144801 [6]

グァテマラ・アマティトラン地熱開発計画　予備調査報告書

目次

写真
1。予備調査団の概要 …… p. 1
1．1　プロジェクトの背景 …… p. 1
1．2　カウンターパート機関 …… p. 1
1．3　調査団構成 …… p. 2
1．4　調査日程 …… p. 2
1．5　主な面談者 …… p. 3
2。協議の概要 …… p. 5
2．1　S／Wの内容 …… p. 5
2．2　M／Mの内容 …… p. 6
2．2．1　調査地域の設定 …… p. 6
2．2．2　調査井掘削本数の確認 …… p. 7
2．2．3　調査スケジュール …… p. 7
2．2．4　業務分担の確認 …… p. 8
2．3　カウンターパート研修 …… p. 8
2．4　調査井の現状調査 …… p. 8
2．5　調査範囲の現地踏査 …… p. 8
2．6　環境影響調査の必要項目の抽出 …… p. 9
2．7　調査井掘削業者のリストアップ …… p. 9
2．8　調査井掘削の最適契約方法の検討 …… p. 9
2．9　機材供与の要請 …… p.10
3。団長所感 …… p.11
3．1　S／W協議について …… p.11
3．2　調査終了後の開発について …… p.12
4。アマティトラン地域の開発 …… p.13
4．1　INDE所有調査井の概要 …… p.13
4．2　坑井の特性 …… p.13
4．3　発電計画 …… p.16
5。スニール地域の開発 …… p.19
5．1　現在までの経緯 …… p.19
5．2　現地調査結果 …… p.25
5．3　発電計画 …… p.25
5．4　今後の協力提言 …… p.25
6。本格調査における留意事項 …… p.27
6．1　パカヤ火山の活動 …… p.27
6．2　現地対策 …… p.29
6．3　環境問題 …… p.29

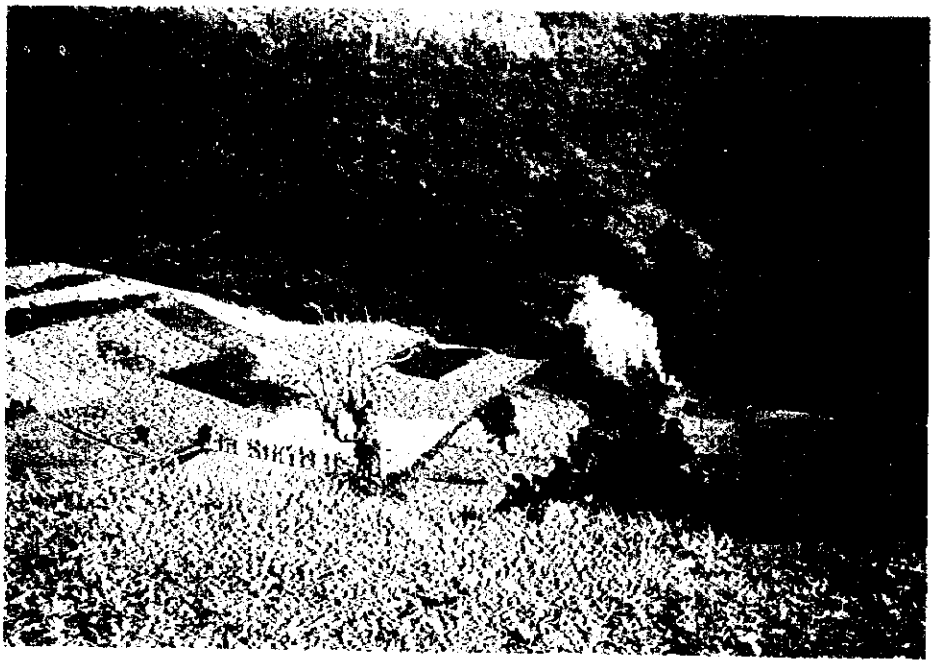
7。S／W及びM／M …… p.31
8。関連資料 …… p.57
　8.1 INDE機関紙記事 …… p.57
　8.2 EL Graficｏ紙 S／W署名記事 …… p.61
9。添付資料 …… p.63
　グァテマラ共和国概要 …… p.63

電力公社(INDE)表敬

S／W協議状況

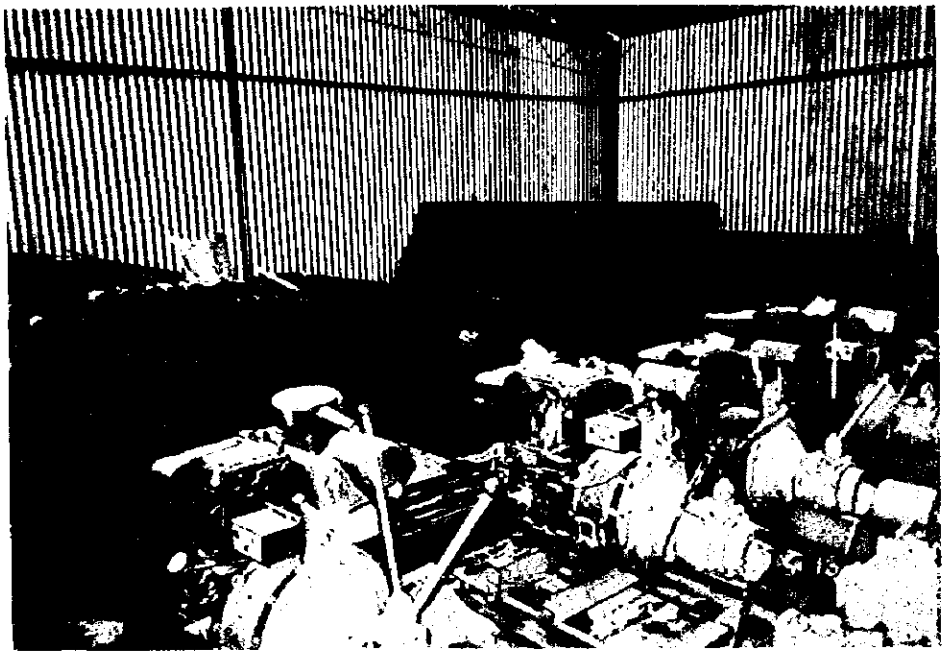
舗装工事状況(アティトラン湖南東主要道路)

スニール地域EL2500m(Samala川)

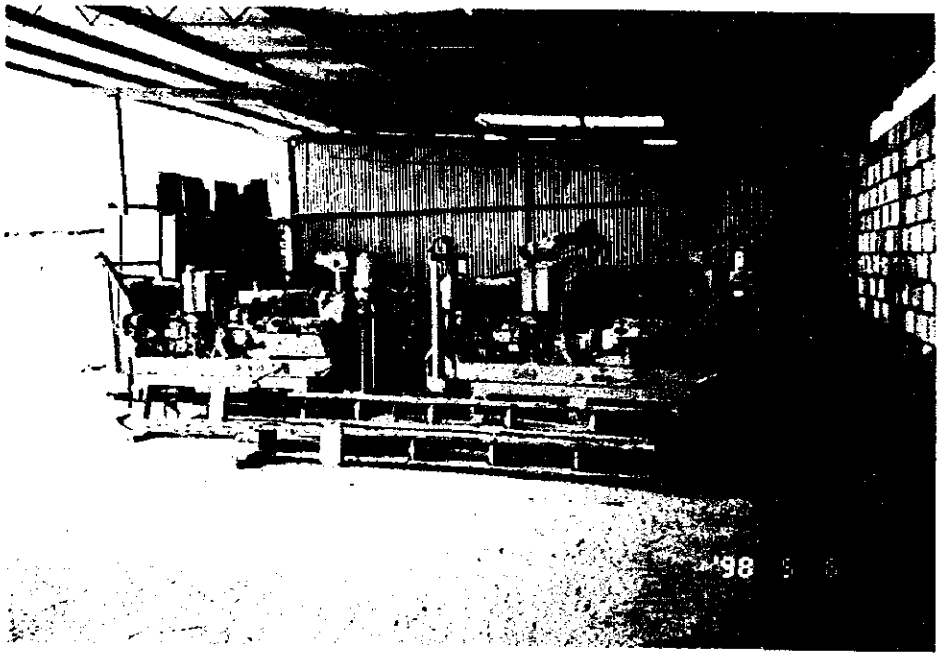


スニールII地区 焼畑(スプリンクラー)

スニールII　調査井(Z-20)コンクリート埋戻し

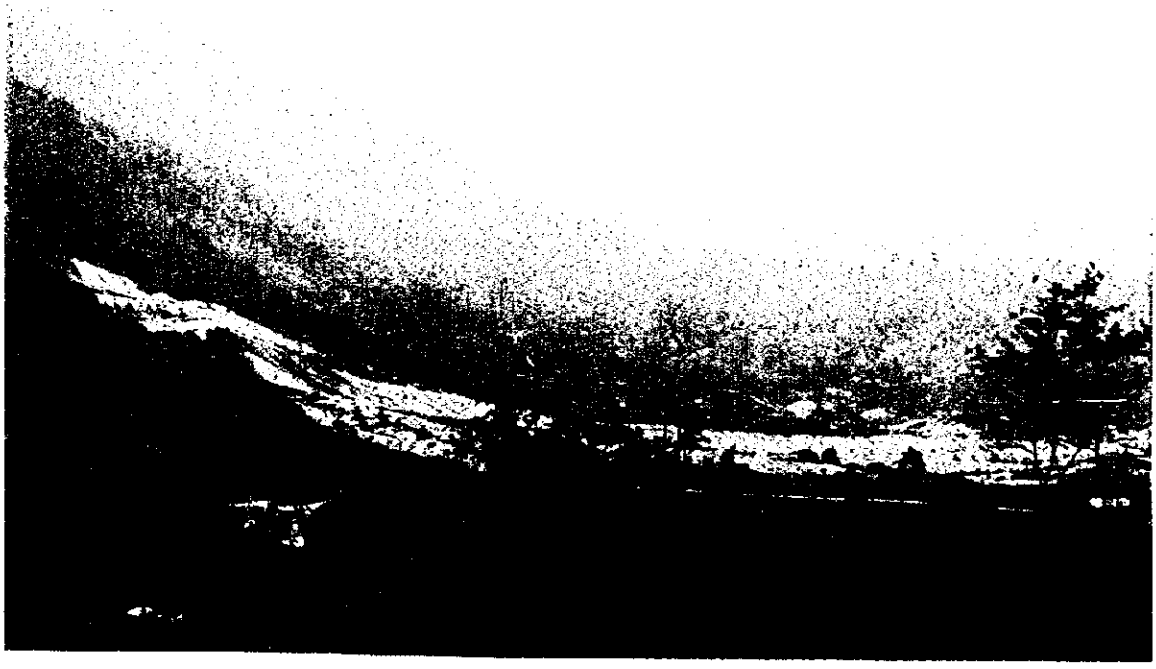


スニール１生産井(ZCQ1)ボーリング機材



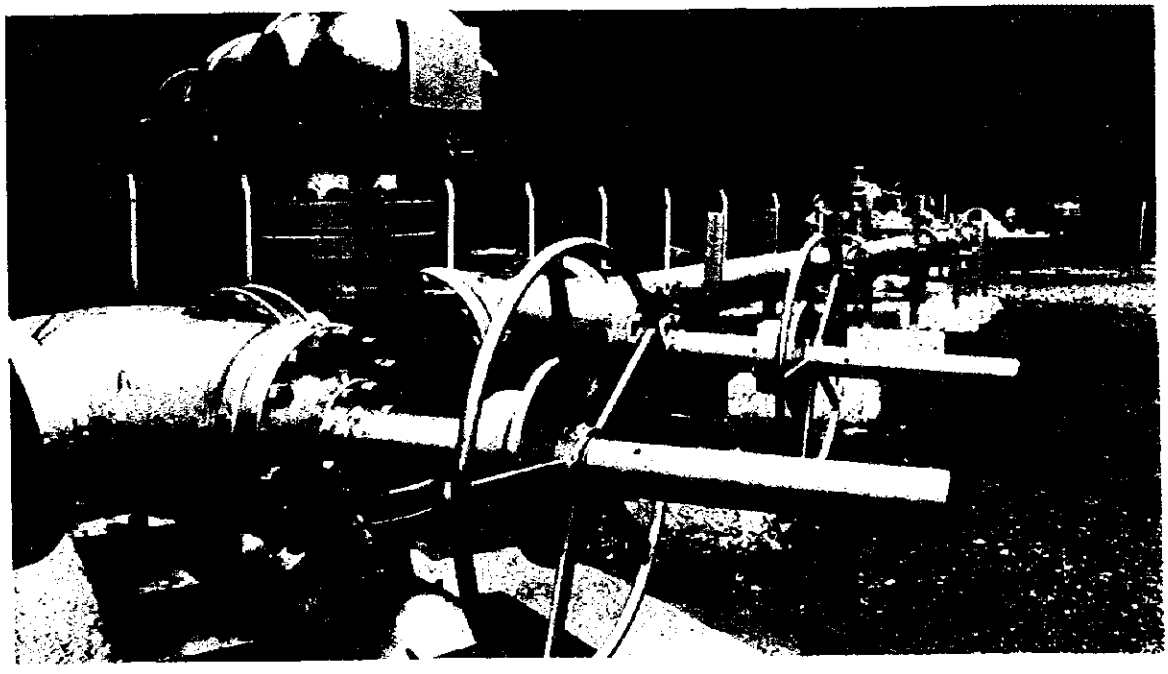
スニール１生産井(ZCQ1)ボーリングマシン

スニール1生産井(ZCQ4)崩壊斜面



スニール1 ZCQ4付近　崖崩壊れ土砂跡

スニール１生産井(ZCQ5)サイレンサー・三角堰



スニール１生産井(ZCQ6)試験設備

スニール I　　発電所建設予定地

スニール I　　(ZCQ I 付近)中学校

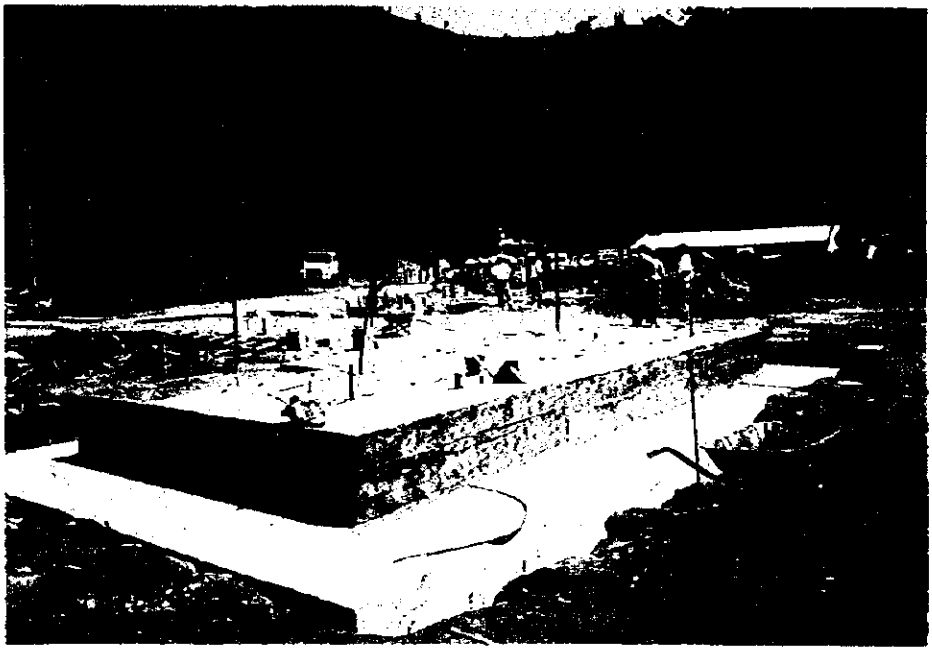
アマティトラン地区INDE資材置場

アマティトラン生産井(AMF2)EL1868 m

アマティトラン生産井(AMF2) 配管布設状況(伸縮部)

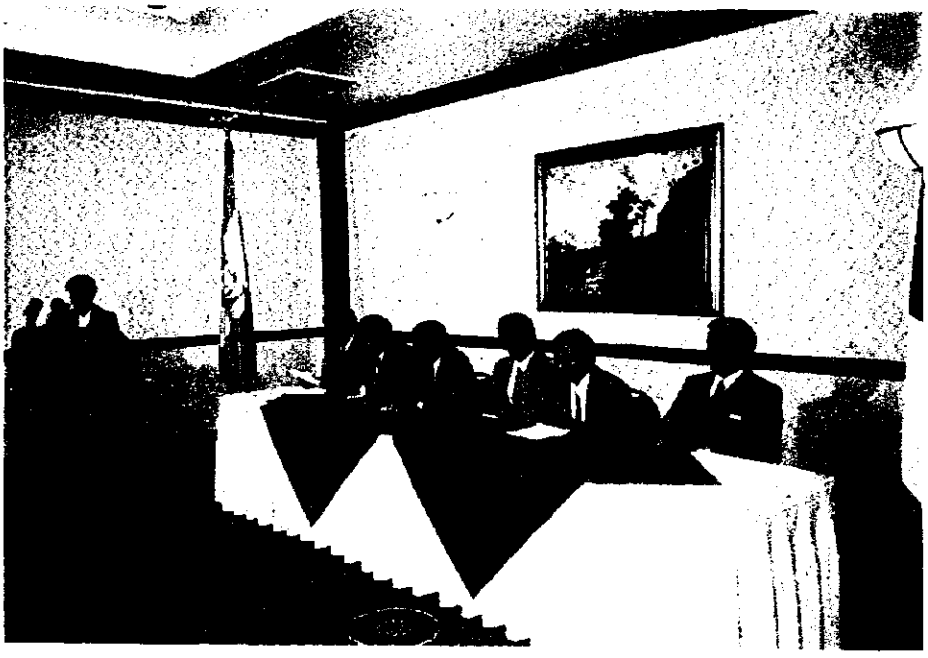
アマティトラン生産井(AMF2)から見えるパカヤ山EL2500 m

アマティトラン生産井(AMF1)仮設プラント建設状況



アマティトラン生産井(AMF1)発電所基礎P＝3MW

グァテマラシティINDEシンボルタワー



S／W署名

S／W署名

調査団(大使公邸にて)

1　予備調査団の概要

1　予備調査団の概要

1.1　プロジェクトの背景

グァテマラ国は、国内の電化率が1997年末で約60%であり、中南米諸国の中でも低いレベルにあるが、国の憲法や政府計画（1996-2000）の中でも全国の電化促進を緊急課題の一つとして掲げて電力開発を進めている。また、現在同国の電源は水力と火力であるが、電力の安定供給上、電源の多様化が電力政策上の課題となっている。

また、グァテマラ国は国土の２／３が山岳地帯で、豊富な地熱資源が存在することが知られており、1970年代から外国援助の下で各種の地球科学的な調査が実施されてきた。1972年に当事業団はスニール地域の地熱調査に協力したが、この地域は同国における地熱発電所第１号として間もなく建設が予定されている。アマティトラン地域は、1972年の当事業団調査によってその地熱ポテンシャルの存在が明らかにされたが、その後の継続的なグァテマラ政府による調査の結果、現在12MW規模の発電能力を持つ蒸気の噴出が確認されている。

上記を背景にして、グァテマラ政府は1997年９月に「グァテマラ共和国アマティトラン地熱発電調査範囲拡大および資源評価調査計画」に係る調査の実施を日本政府に要請した。これを受けた日本政府は、先方関係機関との協議、情報収集等を通じ、本格調査実施可能性を確認することを目的としてプロジェクト形成基礎調査団を 1998年３月17日から３月27日に派遣した。その結果、カウンターパートであるグァテマラ電力公社（Instituto Nacional de Electrificacion : INDE）の本件実施に向けた意識も高く、また、電力開発のニーズ及び調査地域の地熱ポテンシャルも高いことが判明したことから、1998年５月11日から５月24日にかけ予備調査団を派遣し、本格調査の内容について協議を行った。この結果、双方の間で協力内容に関する合意が得られたため、1998年５月18日に実施細則（S／W）を署名交換した。

1.2　カウンターパート機関

エネルギー鉱山省、電力公社（Instituto Nacional de Electrificacion : INDE）

1.3　調査団構成：

氏名	担当	所属
永田 邦昭	団長	JICA鉱工業開発調査部資源開発調査課
高野 辰彦	地熱発電行政	MITI資源エネルギー庁公益事業部電力技術課
宮川 昌明	調査企画	JICA鉱工業開発調査部資源開発調査課
長谷川 博文	作業監理	JICA鉱工業開発調査部資源開発調査課
服部 旭	地熱開発（物理探査）	（財）新エネルギー財団
高橋 洋	地熱開発（地質・地化学）	三菱マテリアル資源開発（株）
石川 順孝	通訳	（財）日本国際協力センター

1.4　調査日程：

	日付	行程	宿泊先	調査内容
1	5月11日（月）	東京→ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	移動
2	5月12日（火）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	在ｸﾞ日本大使館・SEGEPLAN・INDE表敬
3	5月13日（水）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	S/W協議（INDE）
4	5月14日（木）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	S/W協議（INDE）
5	5月15日（金）	ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ→ｹｻﾙﾃﾅﾝｺﾞ	ｹｻﾙﾃﾅﾝｺﾞ	Zunil開発地点調査
6	5月16日（土）	ｹｻﾙﾃﾅﾝｺﾞ→ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	Zunil開発地点調査
7	5月17日（日）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	Amatitlan開発地点調査
8	5月18日（月）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	S/W署名・在ｸﾞ大使館報告
9	5月19日（火）	ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ→	機中／GC	移動／Amatitlan開発地点調査
10	5月20日（水）	→東京	ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	移動／Amatitlan開発地点調査
11	5月21日（木）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	Amatitlan開発地点調査
12	5月22日（金）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	Amatitlan開発地点調査
13	5月23日（土）		ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ	休日
14	5月24日（日）	ｸﾞｱﾃﾏﾗｼﾃｨ→	機中	移動（コンサルタント団員・通訳のみ）
15	5月25日（月）	→東京		移動

1.5　主な面談者：

氏名	所属
【エネルギー鉱山省】	
Rodolfo Valenzuela Saravia	Vice Minister, Ministry of Energy & Mines
【グァテマラ発電会社】	
Florencio Arnoldo Gramajo Ovalle	Gerente, Empresa de Generacion de Energia Electrica, EGEE
【電力公社】	
Luis G. Barascout G	Gerente General, Instituto Nacional de Electrificacion ,INDE
Julio Carlos Prado Romero	Jefe, Division Administrativa Financiera, Empresa Generacion, INDE
Julio Cesar Palma Ayala	Coordinador Ejecutivo, Unidad de Desarrollo Geotermico,INDE
Alfredo Rene Roldan Manzo	Geochemist, Unidad de Desarrollo Geotermico, INDE
Raul Haroldo Cuevas Ruano	Ingeniero de Produccion, Unidad de Desarrollo Geotermico,INDE
Victor Manuel Ortiz Corzo	Geologist, Unidad de Desarrollo Geotermico, INDE
Juan Torres Bernades	Supervisor de Obras Civiles, Unidad de Desarrollo Geotermico,INDE
【経済企画庁】	
Pedro Obando Sosa	Subdirector de Cooperacion Bilateral, Secretaria General de Planificacion y Programacion de la Presidencia ,SEGEPLAN
Leticia Ramirez de la Rosa	Consultora en Cooperacion Internacional, SEGEPLAN
【在グァテマラ日本国大使館】	
村山 比佐斗	在グァテマラ日本大使館特命全権大使
SHIGEMATSU Hatsuhiko	在グァテマラ日本大使館公使
清水 一良	在グァテマラ日本大使館二等書記官
【JICAグァテマラ駐在員事務所】	
田臥 彰三	JICAグァテマラ駐在員事務所長
FUSE Kazuhiro	JICA企画調査員
近藤 慎一	JICAグァテマラ調整員

2　協議の概要

2　協議の概要

2.1　S／Wの内容

協議に際しては、INDE側より直接のカウンターパート組織となる「地熱開発部」のメンバーが参加して行われた。S／Wに記載される各々の調査項目について特に議論を必要としたのは、調査井の掘削時期に関してであった。今回の調査において合意されたS／Wでは、本格調査を次の3つのステージに分けて実施することとなった。

ア）初期調査段階

イ）詳細調査段階

ウ）フィージビリティ調査段階

調査内容の詳細については以下のとおりである。

ア）初期調査段階

①情報収集

②現地調査

③電力事情調査

④初期環境調査

⑤地質調査

⑥地化学調査

⑦物理探査

⑧地熱系モデル構築

⑨調査井掘削位置決定

イ）詳細調査段階

①調査井掘削

②調査井特性調査

③環境影響調査

④地熱系モデルの更新

ウ）フィージビリティ調査段階

①地熱資源量評価

②最適規模の検討とレイアウトデザイン

③概略設計

④工事計画策定

⑤工事費積算

⑥経済・財務分析

⑦総合評価・提言

2.2　M／Mの内容

M／Mの内容の詳細は以下のとおりである。

ア）本格調査対象地域

イ）調査井掘削

①調査井掘削本数と掘削長

②調査井掘削終了の確認方法

③INDE側の応分負担

④INDE側の検層の責任分担

⑤掘削時の水供給に関する協力

ウ）調査井特性試験

①特性試験にかかる機材の提供

②特性試験の試験期間

③試験中の熱水処理

④干渉試験の責任分担

エ）物理探査の方法

オ）電力事情調査の設計への反映

カ）カウンターパートの確保

キ）カウンターパートの本邦研修

ク）調査用車輌の提供

ケ）環境問題

2.2.1　調査地域の設定

INDE側に対し、前回の調査から地熱貯留層の広がり等を検討した結果、アマティトラン地域のカルデラ湖を中心とした7km×4kmの範囲が今回の調査対象地域となることを説明し合意を得て、M／Mにて確認を行った。

2.2.2　調査井掘削本数の確認

前回のプロジェクト形成基礎調査時にINDE側から希望のあった2本の調査井掘削を条件付きで行うことを説明した。これは、本件にかかる経費が他の開発調査に比べ2～3倍必要になること及び、一括の契約により掘削することが効率的に経費を支出することが出来る一方で調査全体の支出額のほとんどを集中して支出しなければならなくなることためであった。提示した主な条件とは、

調査井掘削契約全体額の10%相当額の負担

坑井検層にかかる機材・人材の提供

噴気試験機材の提供

調査用車輌の提供

調査団作業事務所・及び事務機器の提供

等であった。この内2～5に関しては、特に問題になることはなかったが、1については次年度にかかるINDEの予算要求時期が既に終了していることから、多くともUS$150,000相当額（予定全体額の約5%）の支出が精一杯になることが表明された。そのため、調査団側から調査井掘削時期を2年次、および3年次にし、それぞれの年次に1本ずつ掘る契約にして実施することにならざるを得ないとの説明を行った。

これに対してINDE側からは、1契約による実施が経費的な面から効率的であること、掘削業者手配の問題、現在のエネルギー鉱山省大臣、および幹部が地熱に熱心であること、2000年に予定されている大統領選挙でこれらメンバーの交代が予想されることから、2年度間に分けて実施することは得策でないとの発言があった。そこでJICA側からは、日本とグァテマラの予算年度のズレを利用してグァテマラにおける2001年度予算にて対応できないか検討して欲しいとの希望を伝えた。これに対して、INDEからは10%の経費負担を行う措置を取る旨の回答を得た。

以上のことから、調査井の掘削は2本を行うこととする。時期については、2年次目に掘ることとする。

2.2.3　調査スケジュール

調査井を2本掘削することとしたことから、当初計画していた調査スケジュール案に沿って実施することでINDE側と合意した。

2.2.4　業務分担の確認

調査井を2本掘削することから、JICA側の予算措置が厳しくなることをINDE側に説明を行い、地化学調査、磁気探査、検層、噴気試験等の調査については、INDE側所有の機材を用いて実施することで合意を行った。あわせて、これらの調査に必要となる人材をINDE側が行うことについても当初計画通り合意を行い、M／Mにて確認を行った。また、車輌の提供、日本側調査団の事務室と事務機器の提供についてもINDE側と合意した。

2.3　カウンターパート研修

本邦におけるカウンターパート研修の要望があったため、調査団が帰国次第、関係機関に伝えることで合意した。

2.4　調査井の現状調査

INDEは、Amatitlan地域において4年前に掘削したAMF－1・2・3・4の4坑井を所有している。このうちAMF－1・2を生産井として、AMF－3を還元井とし使用することができる。現在、これらの3坑井を使用して5MWのテストプラントを建設中で、本年8月に完成予定である。

INDEは、メキシコのICA（民間企業；土木技師連合）と契約し、ICAがテストプラントの建設費を全額負担することを前提に、生産井AMF－1・2及び還元井AMF－3の使用を認め、その発電した電気をINDEが購入する。テストプラントは、AMF－1の敷地内に建設され、生産井AMF－2からは直径50cmの鉄管で蒸気・熱水が約1km輸送される。AMF－1・2の廃熱水は一時プールに溜めた後、約1km先のAMF－3に還元される。タービンは、日本製（三菱重工製）の背圧型である。

AMF－4は、透水性が悪いため、生産井及び還元井としては使用不可能であるが、生産・還元による地熱貯留層の変動を観察するモニタリング井として利用される予定である。

2.5　調査範囲の現地踏査

INDEと合意した開発調査範囲は、アマティトラン湖の南方の東西7Km、南北4Kmの28km^{2}の範囲である。調査地域には、中央部に東西に横断する車道があり、東端には南北に縦断する車道もある（別添図参照）。

現地踏査は、INDE地熱開発課の2名の技術者と共に行なった。踏査は上記の主要アクセス道、及びAMF－3からAMF－1までの山道を対象とした。この結果、地形は山岳地形に分類されるが、比較的緩く、植生も粗いため、十分に地表調査の実施が可能であることが判明した。また、調査井掘削敷地、及び地熱発電所用地の確保も可能であると判断される。

2.6 環境影響調査の必要項目の抽出

環境影響調査は、CONAMA（国家環境委員会）の指針を十分に理解し、実施する必要がある。この内、特に環境上配慮の必要な項目としては、調査井の噴出試験に伴う廃熱水の処理であることが判った。

2.7 調査井掘削業者のリストアップ

INDEより、以下の調査井掘削業者の予備的な推薦を得た。掘削業者の推薦のためINDEは、事前に近隣のコスタ・リカ及びエル・サルヴァドル両国の各電力公社にヒアリングを実施している。これらの資料も今回入手できた。

掘削業者名	所在地	掘削実績
FORAMINES	フランス	Zunil
DI/ PERFENSA	アメリカ／メキシコ	Zunil, Amatitlan
NEIGHBOR	アメリカ	Costa Rica
PETRODESA	メキシコ	新規

2.8 調査井掘削の最適契約方法の検討

INDEが過去にZunil、Amatitlanで実施した調査井掘削の契約方法を聴取し、契約仕様書を入手した。INDEは、一括請負方式により発注したことはなく、ディレード方式である。この契約方法は、日本でも一般的に採用されている方式である。予定深度より短く終了する場合も考慮し、現段階での最適契約方法を協議した。JICAの行う契約手順を以下に示す。この契約作業に対しては、INDEが全面的にJICAに協力する。

ア）工事仕様書の作成

イ）公示

ウ）現場説明会

エ）入札参加業者の選定

オ）入札

カ）業者決定

公示により、近隣諸外国から多数の関心表明が予想されるが、この段階で実績・企業信頼度などにより、数社の入札参加業者を選定する。その後、入札により業者を決定する。入札前後は、掘削プログラムを提示する。主要な提示内容を以下に示す。

●掘削時間（最適な掘削時間で、早く終了した場合はその時間分のみを支払う）

●機材（ケーシングパイプ、ビットなど）

これに対して、入札参加業者は入札価格を決定する。価格は各項目の積み上げ方式で行う。主な項目を以下に示す。

●掘削費（掘削時間は設定されるが、各社で異なる）

●セメンチング（各社のノウハウで価格が異なる）

●機材（各社の仕入価格により異なる）

業者決定は、価格が最優先されるが、各項目の見積りが適切であるかを評価した上で行われる。このディレードによる契約方法の利点は、一括請負と異なり予定掘削時間より早く終了した場合にその時間分のみを支払うため、コストダウンにつながる。また、発注側の考えにより応用動作がとり易い。一方、問題点はJICA指名のスーパーバイザーの指示による掘削中止時間が生じた場合にJICAが支払う必要がある。また、予定深度より短く終了した場合は、仮設材や消耗品等の機材引取の問題が生じる。

2.9 機材供与の要請

INDEが責任をもって実施する作業に関して、所有機器が十分であるか、協議した。協議では、機器は現在所有しているが、在庫及び今後の使用を考慮して、以下の機材供与の要請があった。

- ●温度・圧力検層機器（クースター）
- ●圧力モニタリング装置
- ●流体包有物の均質化温度測定器

3　団長所感

3　団長所感

3.1　S/W協議について

予備調査における日本側の最大の課題は、如何に調査経費を削減できるかであった。この問題は、本年3月に行ったプロジェクト形成基礎調査の際に、グァテマラ側から1,500m規模の調査井を2本掘って欲しいとの希望が正式に表明されたときから発生したものである。掘削経費が1本あたり195,000,000円（1,000米ドル/m×1,500mで計算）の調査井を1本から2本に増やし、かつ同一年度に2本を掘削することは、調査経費全体額の大幅な増のみならず、現在の調査スケジュールでは、掘削予定の平成11年度に極めて大きな予算の圧迫を生じることになるからである。従って、予備調査では、調査の精度を落とさず、如何に調査の全体額を減らすことが出来るか、また予算支出の平準化を図れるかを意識して協議に臨んだ。

予備調査団は、カウンターパート機関である電力公社（INDE）を表敬訪問した際に、上記の日本側の事情を説明し、調査に対するINDE側の人的・物的・資金的な協力を求めた上で、具体的な協議を開始した。我が方からは、調査井掘削を平成11年度と12年度の2年度に分けて実施するオプションも提示しつつ、平成11年度に2本掘る場合には、掘削経費全体の10%相当をINDE側で負担して欲しい旨伝えた。これは、INDE側の本案件に対する熱意とコミットメントを何らかの形で確認したいという意図を含め投げかけたものである。最終的にINDEとしては、是非とも平成11年度に調査井を2本掘りたいと言う明確な意向が表明され、10%の経費負担に協力するという回答を得ることが出来た。

平成11年度に調査井を2本掘りたい言うINDE側の強い希望の背景は、後に述べる通りであるが、今年度のINDE地熱部門の予算がQ500,000（日本円で約1億円）である状況を踏まえれば、INDEとしても最大限の協力姿勢を示してくれたものとして高く評価できる。INDE側には、調査井掘削経費の一部負担に加え、我が方が提案した調査の範囲と内容、さらに作業の分担と車輌2台を含む資機材の提供をほぼ全面的に受け入れてくれた。カウンターパートスタッフの配置についても、エンジニアクラスメンバーが必ずしも豊富ではないもののテクニシャンレベルの人員も含めて日本側の期待する人員の配置を約束してくれた。本格調査に対してINDE側の協力姿勢、並びに今回の努力と誠意に対して深く感謝する。

3.2　調査終了後の開発について

本件アマティトラン地熱開発計画調査が2001年に終了した後、調査結果に基づいて早急に開発を進めていくことについて、先のプロジェクト形成基礎調査時に引き続き、今回もグァテマラ政府から極めて強い決意が述べられた。明年、グァテマラでは大統領選が予定されており、アルスー大統領は退任することになる。そのため、誰が次期大統領に選出されようとも新体制の下で、INDEの上層部は総入れ替えの可能性が高いと言われている。従って、地熱開発政策の変更がないかどうか、注意深くウオッチして行く必要がある。しかし、火山国で世界でも有数の地熱資源を有するグァテマラ国が、過去30年にわたる調査の成果を無駄にし、今後の発展に向けた努力を停止することはないであろうと思われる。

開発の方式について、INDE側は調査の中でINDEによる蒸気開発から発電までの一貫開発や、蒸気を開発し民間の発電業者に売却する方式、更に一貫開発をINDEと外国企業の共同企業体で実施する方式などについて検討した上でもっとも望ましい方式を選択したい希望を有している。INDEは、現在まだ負債を抱えているが2001年頃から財務状況は好転する見込みと予測されており、INDE側の資金調達方法として、環境プロジェクトに対する低金利円借款、40年償還）に大きな関心を寄せているので、調査を通じてその可能性についても十分に検討して行く必要があろう。

4　アマティトラン地域の開発

4　アマティトラン地域の開発

4.1　INDE所有調査井の概要

INDEは4年前に掘削したAMF－1・2・3・4の4坑井を所有している。以下に各坑井の掘削深度、実測した最高温度及び実施年を示す。

坑井名	深度（m）	最高温度（℃）	実施年
AMF－1	1,581	282	'92～'93
AMF－2	1,502	295	'93
AMF－3	1,500	239	'93
AMF－4	2,058	240	'93

これらの坑井はすべて垂直井で、掘削作業はメキシコの業者により行われた。使用リグは1,000馬力のロードワークスを有するロータリー式のものである。掘削地点の敷地面積は、40m×50mの2,000m^{2}である。

坑井掘削・仕上げは基本的に4段で行っている。第一・二段は各坑井共通で、第一段は約40mまで26”で掘削し、20”のケーシングを挿入後セメンチングを行っている。第二段は約300mまで17 1/2”で掘削し、13 3/8”のケーシングを挿入後セメンチングを行っている。第三段は、各坑井ごとに異なり、約800～1,000mまで12 1/4”で掘削し、9 5/8 ”のケーシングを挿入後セメンチングを行っている。最終の第四段は、約1,500～2,000mまで8 1/2”で掘削し、第三段のケーシング尻より7 5/8 ”の孔明管をハンガーで吊っている。

4.2　坑井の特性

ア）AMF－1

AMF－1はPacaya火山の北方約3.2kmの標高1,797mの地点で掘削されている。掘削深度は1,581mで、掘削期間（注水試験期間も含む）は71日間である。

本坑井の地質は、深度0～20m：沖積層、深度20～125m：Pacaya火山岩類、深度125～310m：後カルデラ火山岩類、深度310～950m：カルデラ火山岩類、深度950～1,300m：先カルデラ火山岩類、深度1,300～1,581m：基盤岩類からなる。基盤岩類として、ダイヤベースと花崗岩類が確認された。

掘削中に逸水は、深度815m（一部）、深度842m（全量）、深度911～1,581m（全量）の3区間で認められた。注水試験では、透水性が良好であることが確認された。最高温度は深度1,425mで282℃である。透水性の良好な箇所は、注水試験により、温度低下から地熱流体の流入により温度回復が著しい箇所として、温度検層結果から抽出できる。透水性の良好な箇所（生産ゾーン）は深度840～900m、深度1,100～1,200m、深度1,500～1,530mの3区間である。また、圧力検層から静水位は約550mである。

AMF－1の噴気前の坑口圧力（ゲージ圧）は36kg/cm²の高圧を示し、坑口弁の開放で噴気に至った。全噴出量は初期には105t/hであったが、終了時（約1ヶ月後）には175t/hに増加した。発電ポテンシャルは4.5MWから6.0MWに増加したが、エンタルピーは約300kcal/kgでほぼ一定であった。全噴出量の165t/h時には、蒸気量：40t/h、熱水量：125t/h、蒸気比は0.24であり熱水が卓越した。この時の坑口圧力（ゲージ圧）は11kg/cm²で、エンタルピーは300kcal/kgであった。温度とエンタルピーの関係より、貯留層内は熱水の単相状態と推定される。

噴気期の坑口圧力（ゲージ圧）は11～17kg/cm²と高圧であるため、商業発電を想定し、坑口圧力（ゲージ圧）を7kg/cm²とした場合の発電ポテンシャルを求めると、6.7MW（全噴出量：190t/h)である。また、噴気停止後の圧力遷移試験では、kh（透水率－層厚積）値は8,200md.m.と見積もられる。

熱水はNa-Cl型で、中性（pH 7）である。蒸気にはCO_2（二酸化炭素）が5,510ppm、H_2S（硫化水素）が80ppmである。

イ）AMF－2

AMF－2はPacaya火山の北北西方約3kmの標高1,868mの地点で掘削され、AMF－1の掘削地点から南西方に約1km離れている。掘削期間（注水試験期間も含む）は52日間である。また、AMF－1からのリグ移動期間（AMF－1のリグダウン、移動、AMF－2のリグアップ）は12日間である。

本坑井の地質は、深度0～18m;沖積層、深度18～50m：Pacaya火山岩類、深度50～560m：後カルデラ火山岩類、深度560～1,180m：カルデラ火山岩類、深度1,180～1,502m：先カルデラ類からなる。この坑井では、基盤岩類は捕捉されていない。

掘削中に逸水は、深度705m（全量）、深度888m（一部）、深度1,030m（一部）、深度1,254m（一部）、深度1,296～1,502m（全量）の3区間で認められた。注水試験では、透水性が良好であることが確認された。最高温度は深度1,480mで295℃である。透水性の良好な箇所（生産ゾーン）は深度1,300～1,400m間である。また、静水位は約600mである。

AMF－２の噴気前の坑口圧力（ゲージ圧）は52kg/cm²の高圧を示し、坑口弁の開放で噴気に至った。全噴出量はほぼ80t/hであり、発電ポテンシャルは5.5MWであったが終了時（約１ヶ月後）に7.0MWに増加し、エンタルピーは約500kcal/kgで安定した。全噴出量の80t/h時には、蒸気量：55t/h、熱水量：25t/h、蒸気比は0.69であった。この時の坑口圧力（ゲージ圧）は8kg/cm²で、エンタルピーは500kcal/kgであった。温度とエンタルピーの関係より、貯留層内は熱水・蒸気の２相状態と推定される。

噴気期の坑口圧力（ゲージ圧）は8～37kg/cm²と高圧であるため、商業発電を想定し、坑口圧力（ゲージ圧）を7kg/cm²とした場合の発電ポテンシャルを求めると、7.6MW（全噴出量：80t/h）である。また、噴気停止後の圧力遷移試験では、kh（透水率－層厚積）値は1,300md.m.と見積もられる。

熱水はNa-Cl型で、中性(pH７)である。蒸気にはCO_2(二酸化炭素)が17,200ppm 、H_2S（硫化水素）が233ppmである。

ウ）AMF－３

AMF－３はPacaya火山の北北東方4.2kmの標高1,800mの地点で掘削され、AMF－１の掘削地点から北東方に約1km離れている。掘削期間（注水試験期間も含む）は63日間である。また、AMF－２からのリグ移動期間（AMF－２のリグダウン、移動、AMF－３のリグアップ）は15日間である。

本坑井の地質は、深度0～660m：後カルデラ火山岩類、深度660～1,120m：カルデラ火山岩類、深度1,120～1,500m：先カルデラ火山岩類からなる。この坑井では、基盤岩類は捕捉されていない。

掘削中に逸水は、深度828m（一部）、深度1,084m（一部）、深度1,273～1,530m（全量）の３区間で認められた。注水試験では、透水性が良好であることが確認された。最高温度は深度1,000mで239℃である。温度曲線は深度1,000mまで上昇し、それ以深では低下し、坑底の深度1,500mでは200℃以下になる。また、静水位は約600mである。

AMF－３の噴気前の坑口圧力（ゲージ圧）は0kg/cm²で、コンプレッサーを使用しエアリフトによる噴気誘導を行ったが噴気に至らなかった。

エ）AMF－４

AMF－４はPacaya火山の北北西方4.5kmの標高1,660mの地点で掘削され、AMF－１の掘削地点から北西に約1.5km離れている。掘削期間は86日間である。また、AMF－３からのリグ移動期間(AMF－３のリグダウン、移動、AMF－４のリグアップ)は21日間である。

本坑井の地質は、深度0～310m：後カルデラ火山岩類、深度310～880m：カルデラ火山岩類、深度880～1,300m：先カルデラ火山岩類、深度1,300～2,058m：基盤岩類からなる。この坑井では、基盤岩類としてダイヤベースと花崗岩類が確認された。

掘削中に逸水は、深度864m（一部）、深度924m（一部）、深度1,066m（一部）、深度1,075m（一部）、深度1,530m（一部）、深度1,980m（一部）で認められたが、全量逸水は生じなかった。注水試験では、透水性が不良であることが確認された。最高温度は深度1,800mで240℃である。また、圧力検層から静水位は約600mである。

AMF－4の噴気前の坑口圧力（ゲージ圧）は35kg/cm^{2}の高圧を示し、坑口弁を開放したが、透水性の不良のため噴気に至らなかった。

4.3 発電計画

4坑井のうちAMF－1・2が生産井として、AMF－3は還元井とし使用できる。これらの3坑井を使用して5MWのテストプラントを建設中で、本年8月に完成予定である。

INDEはメキシコのＩＣＡ（民間企業：土木技師連合）と契約し、ＩＣＡがテストプラントの建設費を全額負担することを前提に、生産井AMF－1・2及び還元井AMF－3の使用を認め、その発電した電気をINDEが購入する。テストプラントはAMF－1の敷地内に建設され、生産井AMF－2からは直径50cmの鉄管で蒸気・熱水が約1km輸送される。AMF－1・2の廃熱水は一時プールに溜めた後、約1km先のAMF－3に還元される。タービンは、日本製（三菱重工製）の背圧型である。

AMF－4は透水性が悪いため、生産井及び還元井としては使用不可能で生産・還元による地熱貯留層の変動を観察するモニタリング井として利用される予定である。

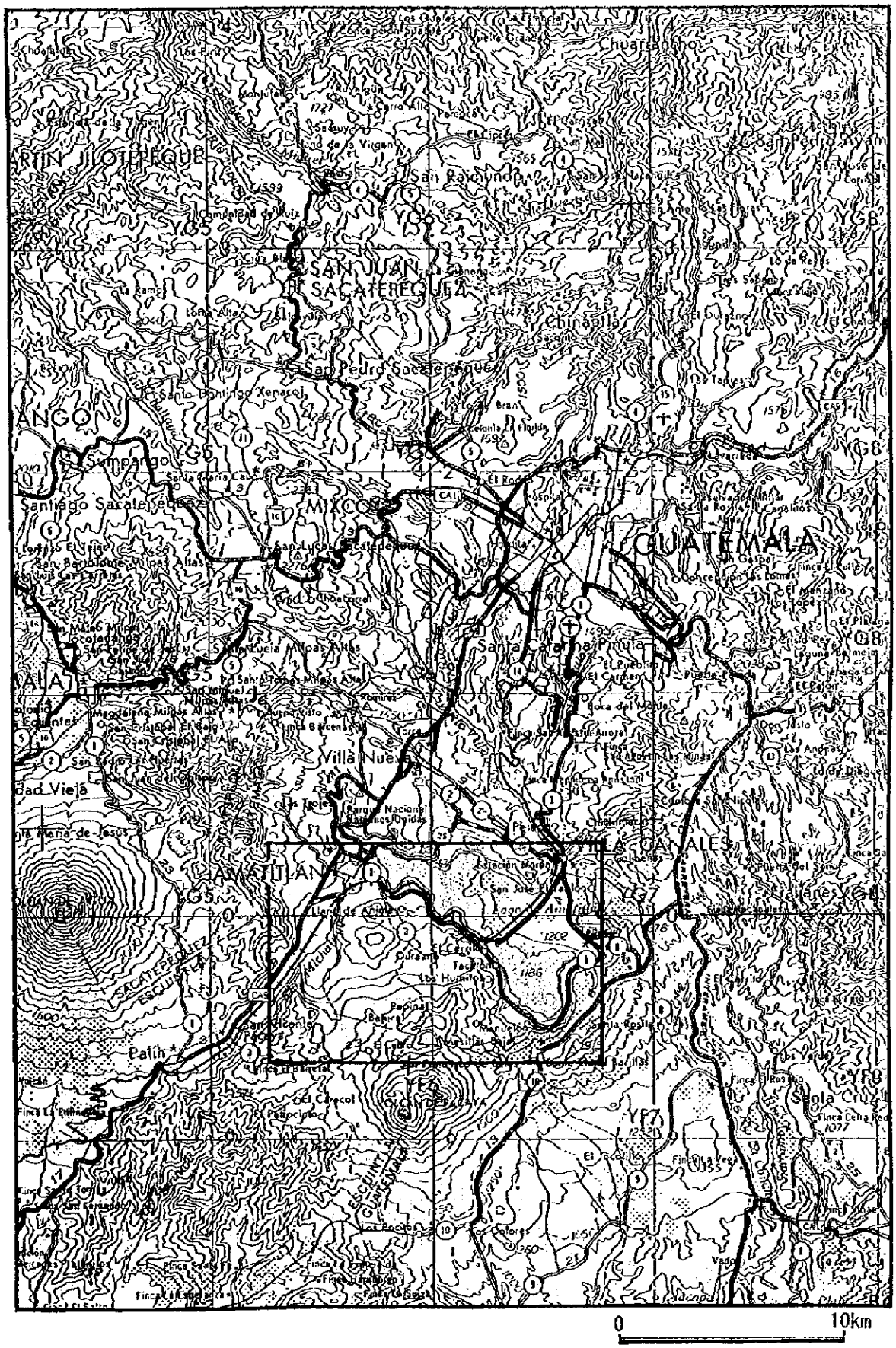


図4−3−1 グァテマラ市周辺位置図

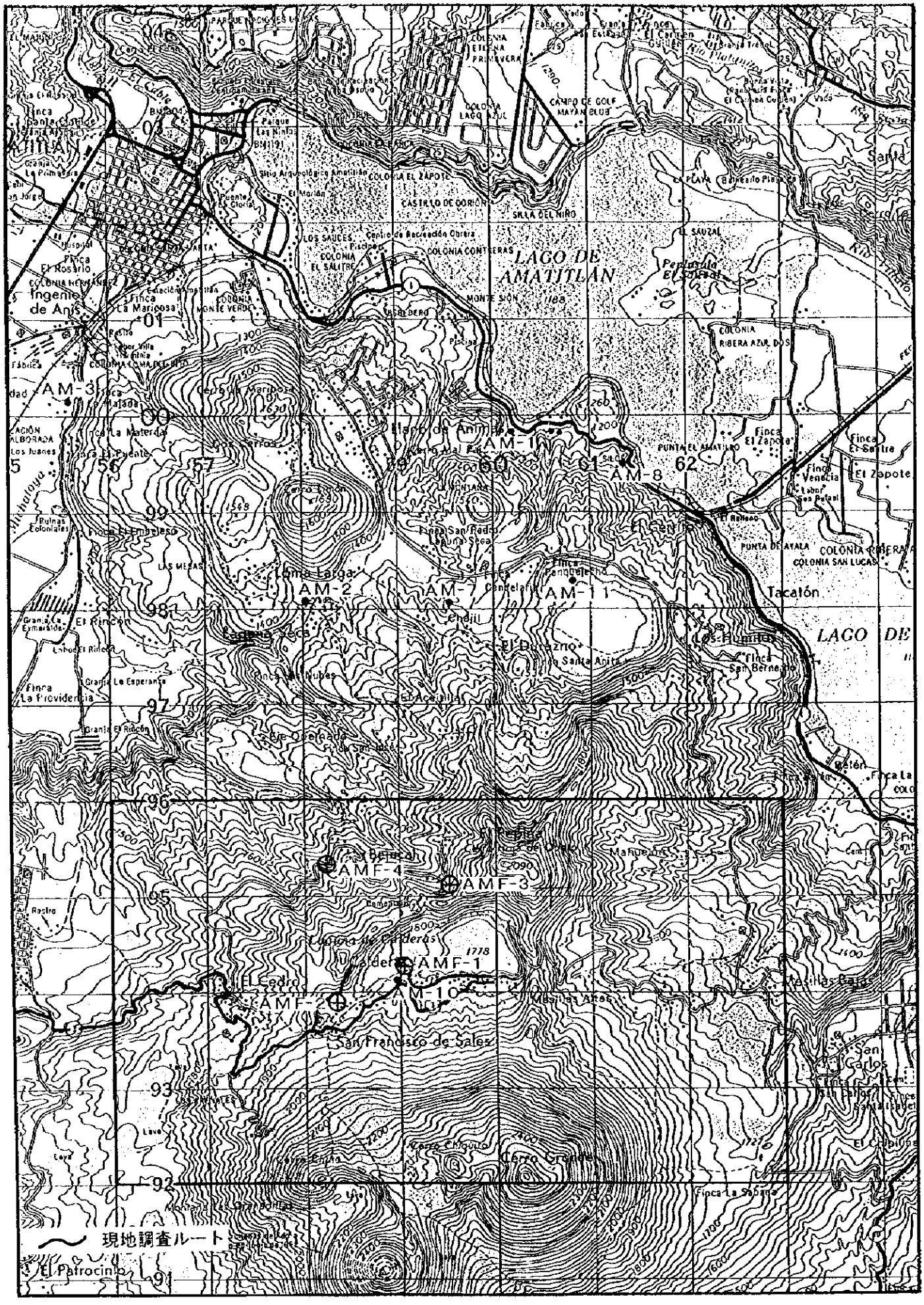


図4—3—2 アマティトラン地域位置図

5　スニール地域の開発

5　スニール地域の開発

5.1　現在までの経緯

国際協力事業団の前身、海外技術協力事業団（OTCA）は、1972年に調査団を派遣し、グァテマラの地熱資源評価を実施している。その後、1976年には、JICAの地熱開発協力基礎調査団がスニール地域を対象として地質、地化学、比抵抗調査、地震探査を実施している。協力相手先機関はINDEである。

1982年には、グァテマラ政府と中南米エネルギー開発機構（OLADE）の基金で、INDEは国の南部にある火山地帯の数地域で地球科学的調査を実施した。この調査により、有望な４地域が選ばれた。即ち、Tecuamburro、Amatitlan、San MarcosとZunilである。

地化学温度計は貯留層の推定温度として用いられており、Tecuamburroの２０５℃からZunilの３００℃まで変化している。この地域はケツァルテナンゴ市のカルデラの縁にあり、地質的には白亜紀と考えられる花崗岩質の基盤岩と第四紀の溶岩及び各種の火山砕屑岩類により形成されている。スニール地域の熱水系はこの地域の北約３ｋｍにあるCerroQuemado、南西約６ｋｍにあるSantaMariaの火山の活動に関連している。スニールＩの地熱兆候地域に８本の小口径調査井が掘削され、最高温度はＺ－２号井の深さ６４６ｍで２５７℃であった。

1991年１月５日にスニール地域で大規模な地滑りが発生した。この地滑りは、砂流は全長１ｋｍ、最大幅２００ｍ、厚さ２～５ｍ、６～８軒の民家が破壊され、２３人が死亡している。地滑り地点のすぐ下にあった地熱井ＺＣＱ－４が埋没したため、「地熱井の爆発が数回の地滑りを引き起こした」と新聞に誤報道されたが、最初に地滑りが発生し、ＺＣＱ－４坑口が埋没した。ＺＣＱ－４号井は深度１,０２６ｍで噴気テスト時の最高温度は２５２℃で、坑口圧５．６kg/cm-aで３０t/h以上の蒸気を生産する能力を有していた。もしも、地滑りにより坑口装置が完全に破壊されておれば、小規模な噴出で収まっているとは考えられない。現在は完全に掘り起こされ、掘削終了時と同じ状態になっている。

ＺＣＱ－５、ＺＣＱ－６、ＺＤ－１～３も急崖の下で掘削されているので、同様の地滑りで被害を受ける可能性を有している。発電開始後にパイプラインが被害を受けると大事故につながるので事前の調査が必要であると思われる。

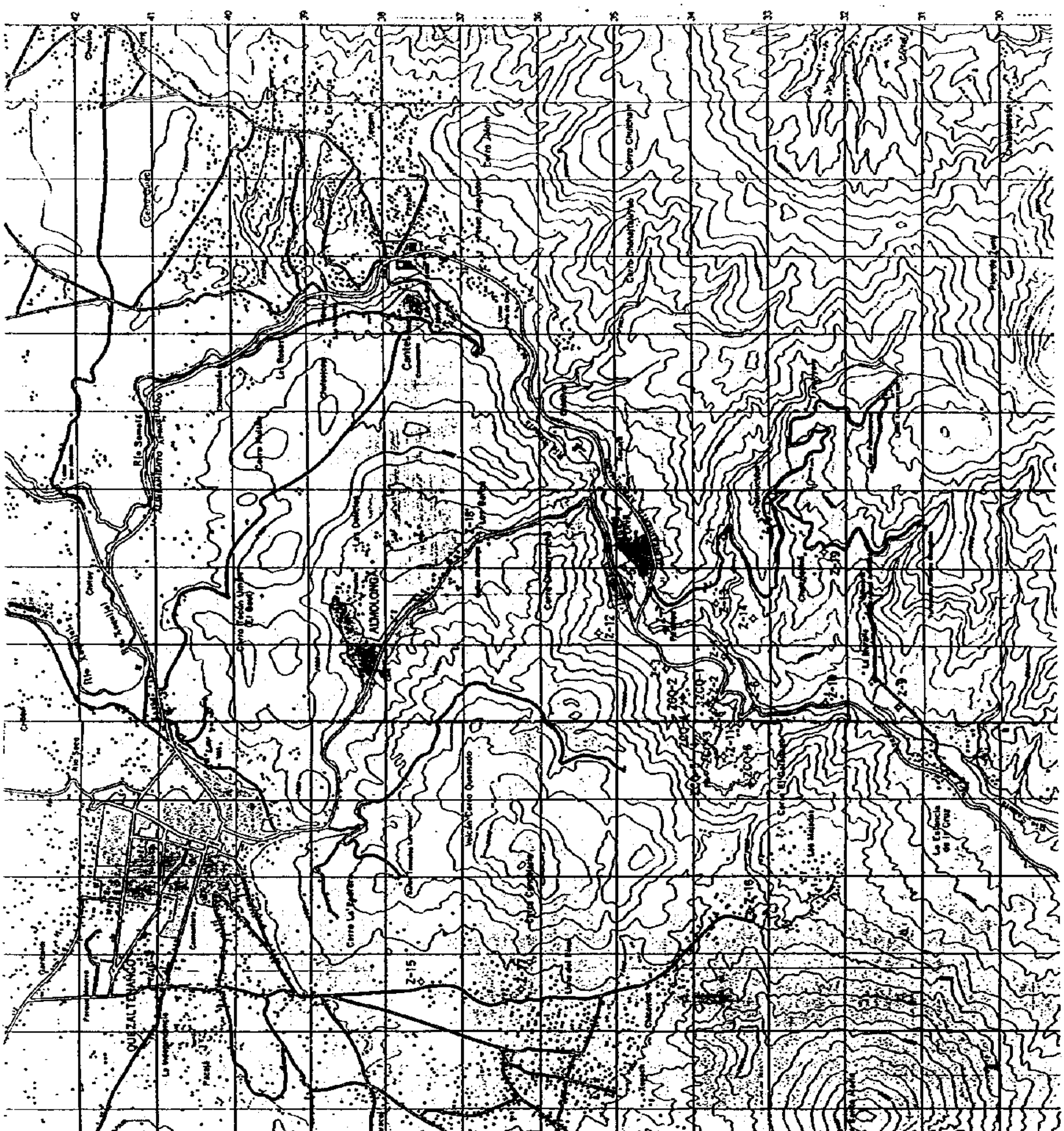


図5－1－1 ケサルテナンゴ地域位置図

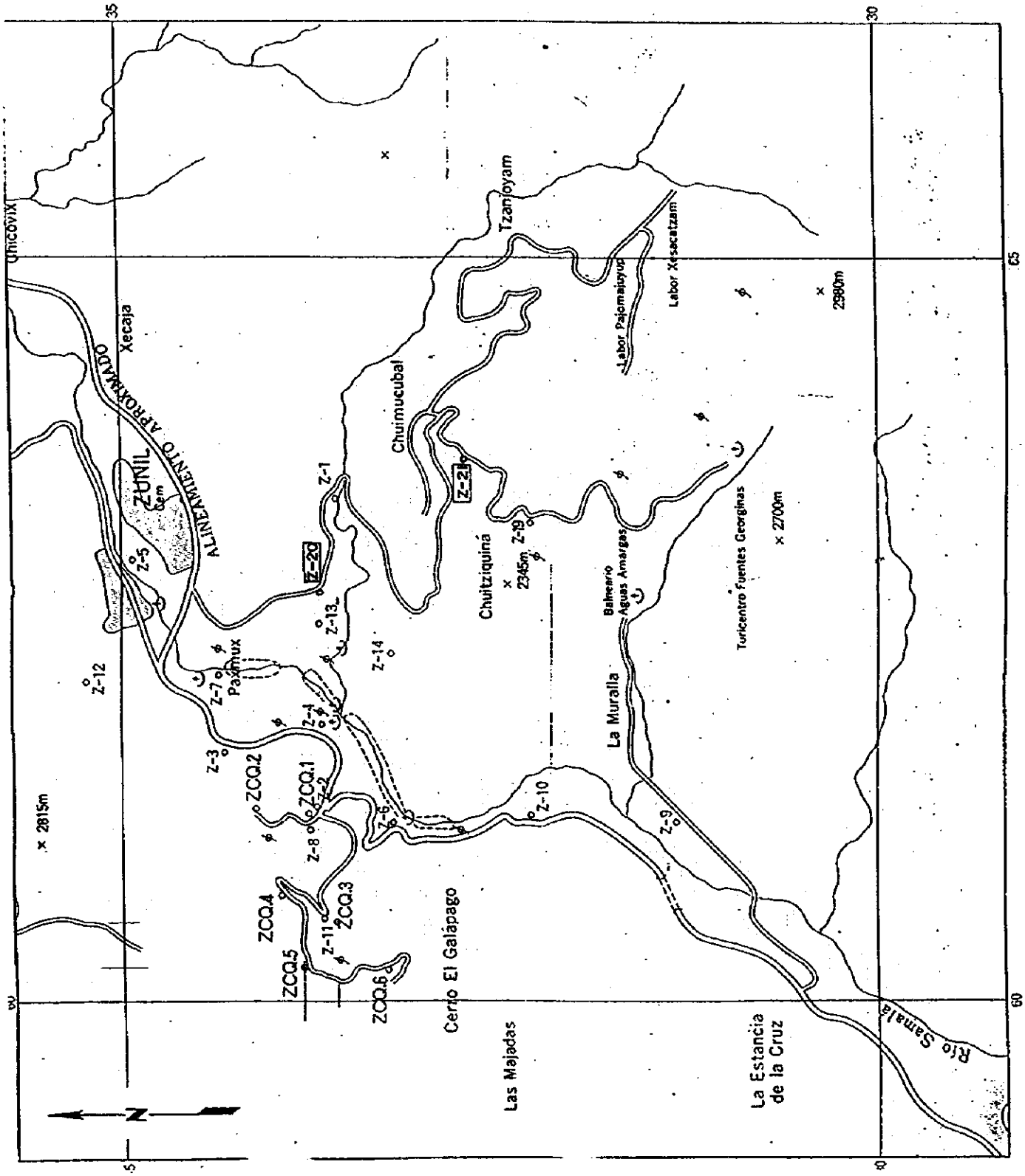


図5－1－2 スニール地域位置図

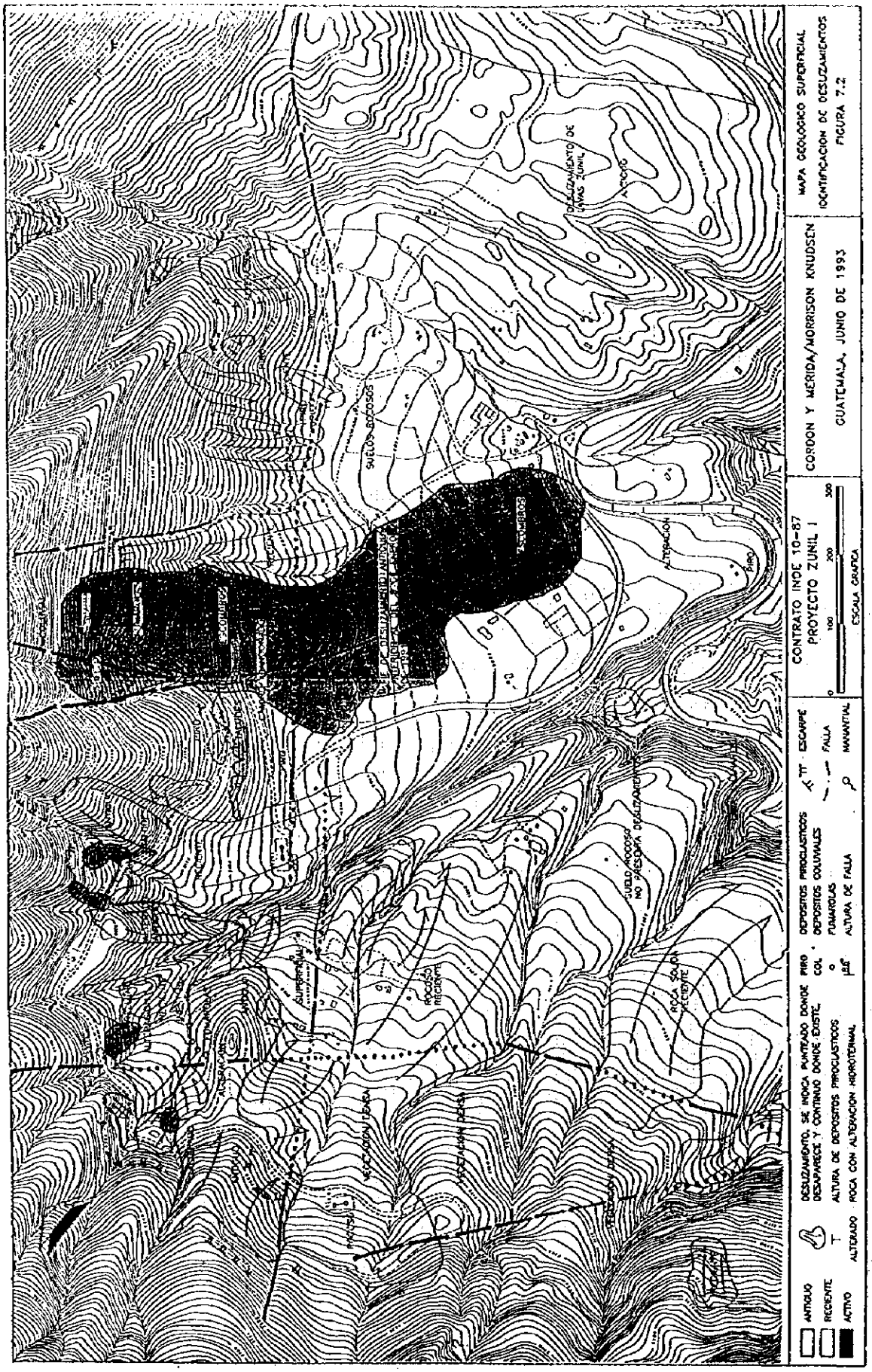
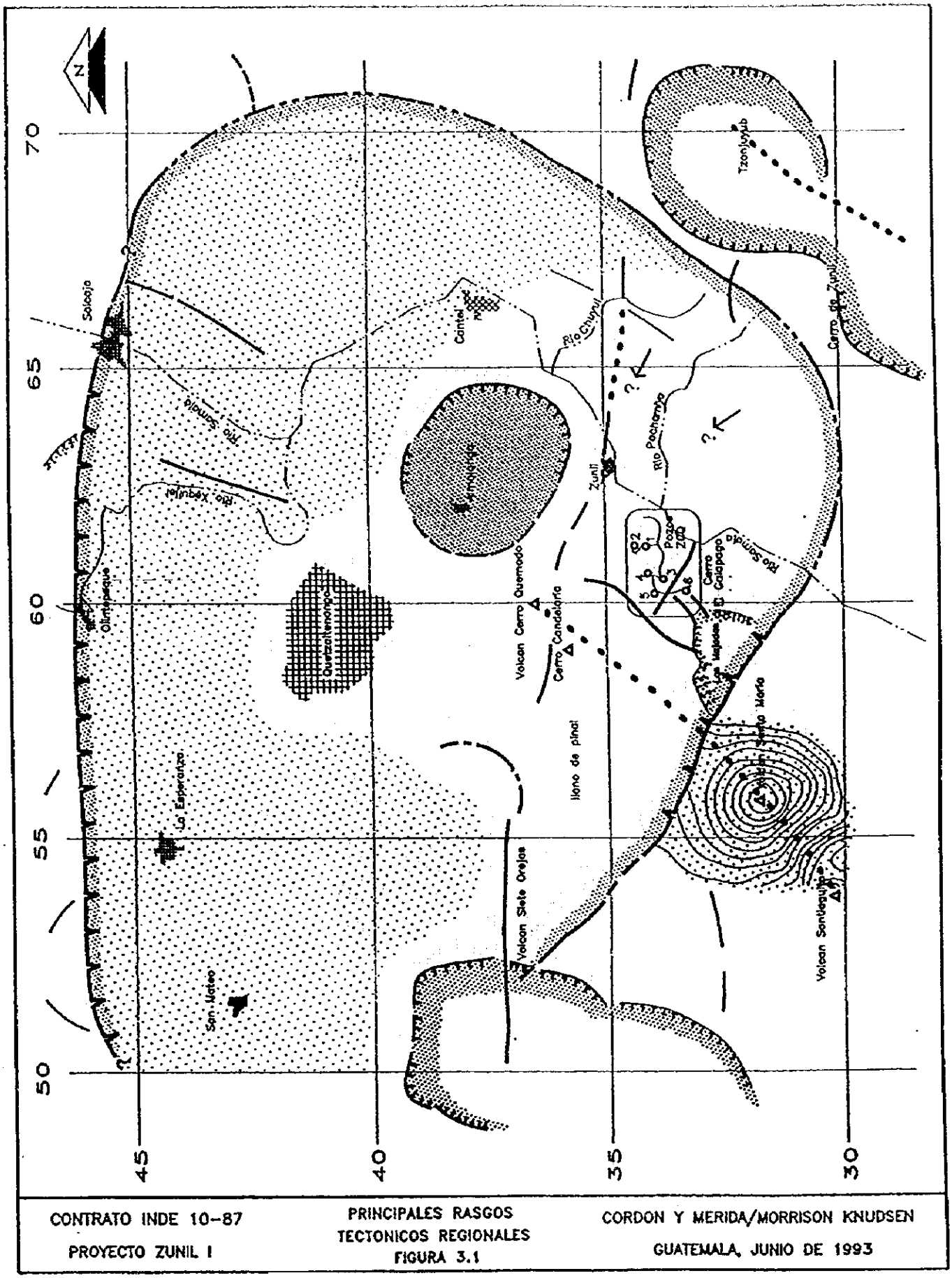


図5－1－3 スニール地域地滑り位置平面図

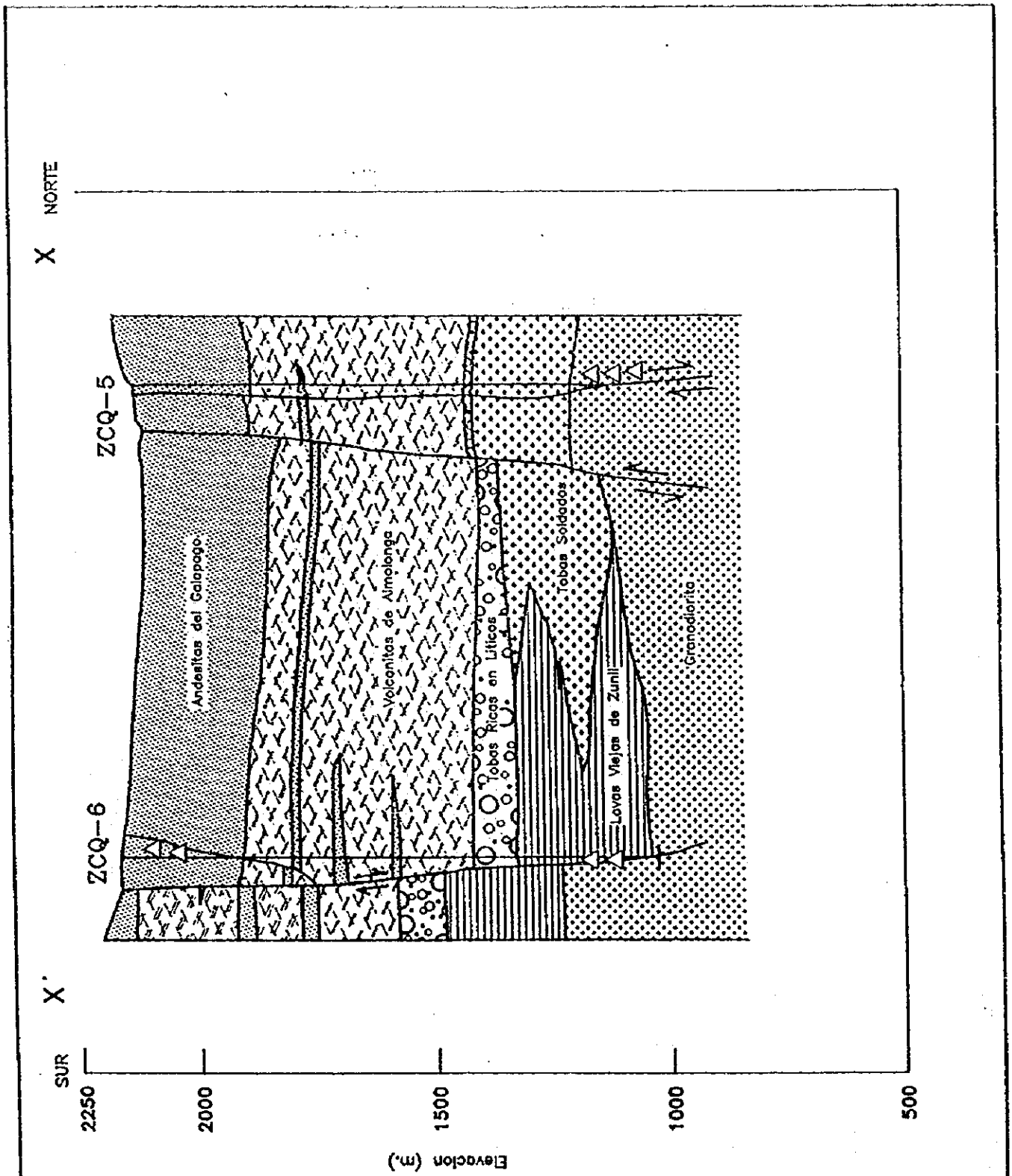


CONTRATO INDE 10-87
PROYECTO ZUNIL I

PRINCIPALES RASGOS
TECTONICOS REGIONALES
FIGURA 3.1

CORDON Y MERIDA/MORRISON KNUDSEN
GUATEMALA, JUNIO DE 1993

図5－1－4 スニール地域地質構造図



CONTRATO INDE 10-87
PROYECTO ZUNIL I

ESTRATIGRAFIA POZOS ZCQ
SECCION TRANSVERSAL NORTE - SUR
FIGURA 3.7

CORDON Y MERIDA/MORRISON KNUDSEN
GUATEMALA, JUNIO DE 1993

図5－1－5 スニール地域地質断面図

5.2　現地調査結果

調査団は、1998年5月14日・15日にスニール地熱地帯の現地視察を行った。スニール地域は、グァテマラ第2の都市、ケサルテナンゴ(Quetzaltenango)の南東約7kmにあり、Rio Samalaを挟んで西側がスニールⅠ、東側がスニールⅡと呼ばれている。

合計27本の調査井、生産井が掘削され、このうち1980年～1981年には大口径調査井6本（ZCQ 1～ZCQ 6）が掘削されている。これらの坑井は、深度800～1,000mで花崗岩との境界部あるいはその上位のデイサイト質の地層中が生産ゾーンとなっている。

この状況を踏まえ1991年以降に1,500m以上の深堀と傾斜堀を採用し、花崗岩中の断裂系をねらって一坑井あたりの蒸気量の増量をはかった。この結果、ZD－1～ZD－3の3坑から合計26．3MW相当の蒸気量を確認した。各井戸の特性は以下の図5－2に示すとおりである。

5.3　発電計画

現在はまだ発電に至っていないが、1999年に24MWの発電を開始する事になっている。この契約はBOT方式により、イスラエル国のOrmat社が現地法人Orzunilを設立してINDEと契約を交わしている。契約の詳細は不明であるが、現地ではプラントの予定地の買収も終わり、配管計画も完了しているとのことであった。建設費は約US$3,000万である。

5.4　今後の協力提言

スニールⅡは、アマティトランと並び、地熱発電の有望地域になっている。

1972年以来、スニール地域の評価のためＪＩＣＡによる国際協力を継続してきたこと、また、スニールⅠの開発に続きすぐにでも発電につながることを考慮すれば、調査案件としてはかなり実現可能性の高いものと考えられる。協力内容については、組織的な地表調査と生産井の掘削であり、アマティトラン地域と同様の予算規模、または、それ以下で十分に発電に結びつくと思われる。地形急峻なスニールⅠと比較し、スニールⅡは比較的緩やかであり、アクセス道路も良好である。

図5－2　ZUNIL GEOTHERMAL FIELD　PRODUCTION OF COMMERCIAL WELLS

WELL	DEPTH (m)	$T_{(MAX)}$ (°C)	WHP bar a	$T_{(WHP)}$ (°C)	H Kcal/Kg	Qt * (T/Hr)	Qv * (T/Hr)	Qa * (T/Hr)	Pot (MWe)
ZCQ-3	1,041	271	7	151	360	62	25	37	3.2
ZCQ-4	1,026	255	10	176	668	32	32	-	4.1
ZCQ-5	1,080	276	6	159	668	30	30	-	3.8
ZCQ-6	1,142	288	8	152	360	62	14	48	1.8
ZD-1	1,516	297	10	183	340	290	98	192	12.6
ZD-2	1,784	294	10	163	340	192	72	120	9.2
ZD-3	2,370	290	6	130	370	80	35	45	4.5

★ Calculated at 7.03 Kg/cm²

Patm. = 11.2 psi

Absolute pressure (psia) = Manométric pressure (psig) + Atmosferic pressure (Patm)

$T_{(MAX)}$ = Maximun Temperature °C

$T_{(WHP)}$ = Temperature at well head pressure °C

WHP = Well head pressure (psia)

P_u = Pressure at the orifice, upstream (psig)

P_c = Pressure at the orifice, downstream (psig)

H = Enthalpy (KCal/Kg)

Q_T = Total flow (Ton/hour)

Q_A = Water flow (Ton/Hour)

Q_v = Steam flow (Ton/Hour)

P_c = Critical pressure (psig)

6　本格調査における留意事項

6　本格調査における留意事項

6.1　パカヤ火山の活動

メキシコから太平洋沿いにSierraMadre山脈が走り、中米の最高峰であるTamulco, 4,220mの他、Tacana,4,220m、Acatenango,3,960m、Fuego,3,835m等の高峰をはじめとして、３３の活火山がある。このうち、現在活動している火山は、SantaMariaと Pacayaの２火山である。

パカヤ火山（Volcan de Pacaya）は、首都グァテマラ・シティの南南西、約２５ｋｍにあり、調査地域からは３ｋｍに位置している。

記録に残っているパカヤ火山の活動記録は、以下の通りである。

年　月　日	活動内容
１６７７年　７月　７日	ストロンボリ型噴火
１８９０年～１９００年	いくつかの活動あり
１９６１年　３月１１日	ストロンボリ型噴火開始
１９６５年１０月１９日	比較的大きな噴火
１９６６年～１９８０年	ストロンボリ型噴火
１９８１年～１９８７年	溶岩流を伴うストロンボリ型噴火
１９８７年　１月２１日	Amatitlan,Santa Elena Barillas に一部被害あり。 El Caracol, El Patrocino 村は避難。
１９８７年　１月２５日	El Caracol, El Rodeo, 一部El Patricinoに１０から１５ｃｍの降灰あり。これら村落の住民は避難。
１９８７年　６月１４日	山頂より南東へ２．５ｋｍの溶岩流あり、６００人避難。
１９８９年　３月　７日 ～３月１１日	El Patrocino と El Podeo へ二つの溶岩流。第３の溶岩流がEl Caracol の北東から始まり３Ｋｍ西に達する。
１９９０年　４月　２日	４時間の噴火によりEl Patrocino と El Podeoに１０ｃｍの降灰。
９月１５日	弱い噴火によりEl Patrocinoに降灰。
１９９１年　６月　６・１４・１６日	噴火により Mackenney クレータ崩壊。
７月　８・１２・１４・１５日	弱い噴火によりEl Caracolに降灰。
７月２７日	El Caracol,El Patricinoに２６ｃｍの降灰。Escuintra では５ｃｍの降灰。細かい灰が Santa LuciaCotzumalguapaに達する。
８月　１日	３，０００ｍの噴煙により細かい灰が Barberena,Cuilapaに降る。

１９９３年	１月１０日	クレータが崩壊し El Caracol の近くへ崩壊物が流れる。この地域で酸性の降灰のため菜が枯れる。
	９月２１日	４時間の噴火により El Caracol に少量の降灰。
１９９４年	３月１６日	白熱溶岩が３００ｍの高さに吹き上げ、降灰は麓に降り注ぐ。
	１０月１５日	水蒸気爆発による酸性降灰により Santa Elena Barillas, Los Llanos で農産物に被害。呼吸器障害患者が出る。
１９９５年	４月　７日	火山泥流が Los Rios 村の家屋を壊し、子供が死亡。他は避難。２５ｃｍ～３５ｃｍの降灰あり。
	６月１～７日	クレータの西側が崩壊し、なだれが生じ、アンテナが壊れ、Las Granadillas Mountain にある Cerro Chino の４ｋｍ^{2}の面積の植物が被害を受けた。
	６月　７日	火山泥流が山道を覆い、橋を破壊したため、El Patrocino と Los Rios 村が不通になった。住民の避難が必要であった。
	９月	水蒸気爆発により１Ｋｍの高さまで噴煙が上がる。これにより、細かい火山灰が Santa Elena Barillas に３ｃｍ積もった。また、細粒の灰が Barberna と Cuilapa の周辺に降った。
１９９６年１０月１１日		５００ｍから７００ｍの噴火があり南東方向に１．５ｋｍ溶岩が流れた。風速が３５～４５ｋｍ/時間あったため細かい火山灰が太平洋岸にまで降った。
	１１月１１日	９時間の噴火により溶岩が２ｋｍ流れ、El Caracol と El Rabon に７～１２ｃｍの降灰があった。El Rodeo にも一部２～３ｃｍの降灰があった。El Caracol と El Rodeo の住民及び El Patrocino の一部の住民が避難した。
１９９７年～１９９８年		ガスの噴出と時々ストロンボリ型活動が続く。
１９９８年	５月２０日	ストロンボリ型噴火により火山の北方、グァテマラ市にまで降灰があった。これは、風向が通常の逆方向であったためである。

6.2　現地対策

調査団が滞在した最終日（5月20日）に上記の活動があり、首都に数ミリの降灰があり、空港が72時間閉鎖された。幸いにも活動は1回で収まったため、首都への被害は少なかったが、火山周辺の住民100所帯は避難したとのことである。地熱調査地域のパイロットプラントの建設工事は1日だけ作業を中断したが、すぐ工事を再開した。

上記のように、ストロンボリ型活動は小噴火を繰り返すものであるため、長年この活動を知っている周辺住民は比較的楽観的である。火山活動に対する予知観測網は全くないため、防災センターが上記の様な被害状況を記録しているに過ぎない。

今後の地熱開発調査期間中にも火山活動が予想されるので、出来れば独自に火山活動のモニターをする事が望ましい。最も簡便な方法は、小型の地震計を設置し、火山性微動を観測してその頻度から活動状況を予測する方法である。これにより地熱開発前と開発後の微小地震観測にも有効である。

6.3　環境問題

調査地域には、環境上問題になる動植物はないが、掘削に必要な水は Lagunade Calderas から揚水することになっている。AMF－1～AMF－4の掘削時にもこの湖水を利用しているので問題はないと思われるが、今後もLagunadeCalderasを汚染しないよう十分な配慮が必要である。