

不為之者，皆謂之為不仁。不仁之
者，其罪亦大矣。故君子必先慎乎德。

德者本也

德者本也，財者末也。

財者末也，外本而末，
則民不歸，德者本也，財者末也。

メキシコ合衆国テフピルコ地域 資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次

JICA LIBRARY



1098587(7)

23882

平成 4 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

23882

は し が き

日本国政府はメキシコ合衆国政府の要請に応え、同国の中央部に位置するテフピルコ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査・地化学探査・物理探査・ボーリング調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本調査は、平成3年度を第1年次とし、金属鉱業事業団は7名の調査団を編成して平成3年9月2日から平成3年12月20日まで現地に派遣した。

現地調査は、メキシコ合衆国政府関係機関、エネルギー鉱山国営企業省鉱物資源局(CONSEJO DE RECURSOS MINERALES : CRM)の協力を得て完了した。

本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたメキシコ合衆国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在メキシコ合衆国大使館及び関係各位に衷心より感謝の意を表する。

平成4年3月

国際協力事業団
総裁 柳谷謙介

金属鉱業事業団
理事長 福原元一

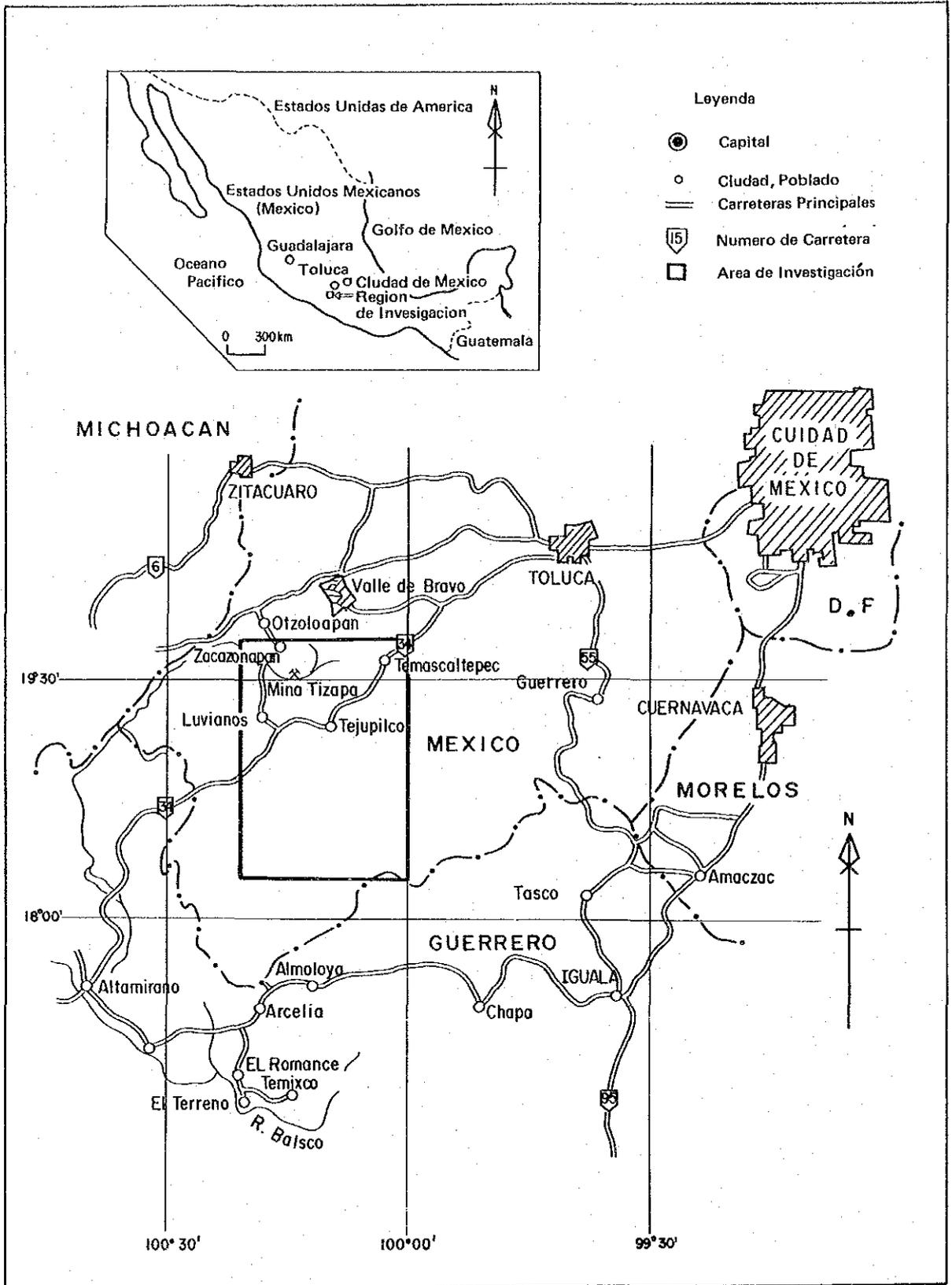


图 1-1-1 調查地域位置图

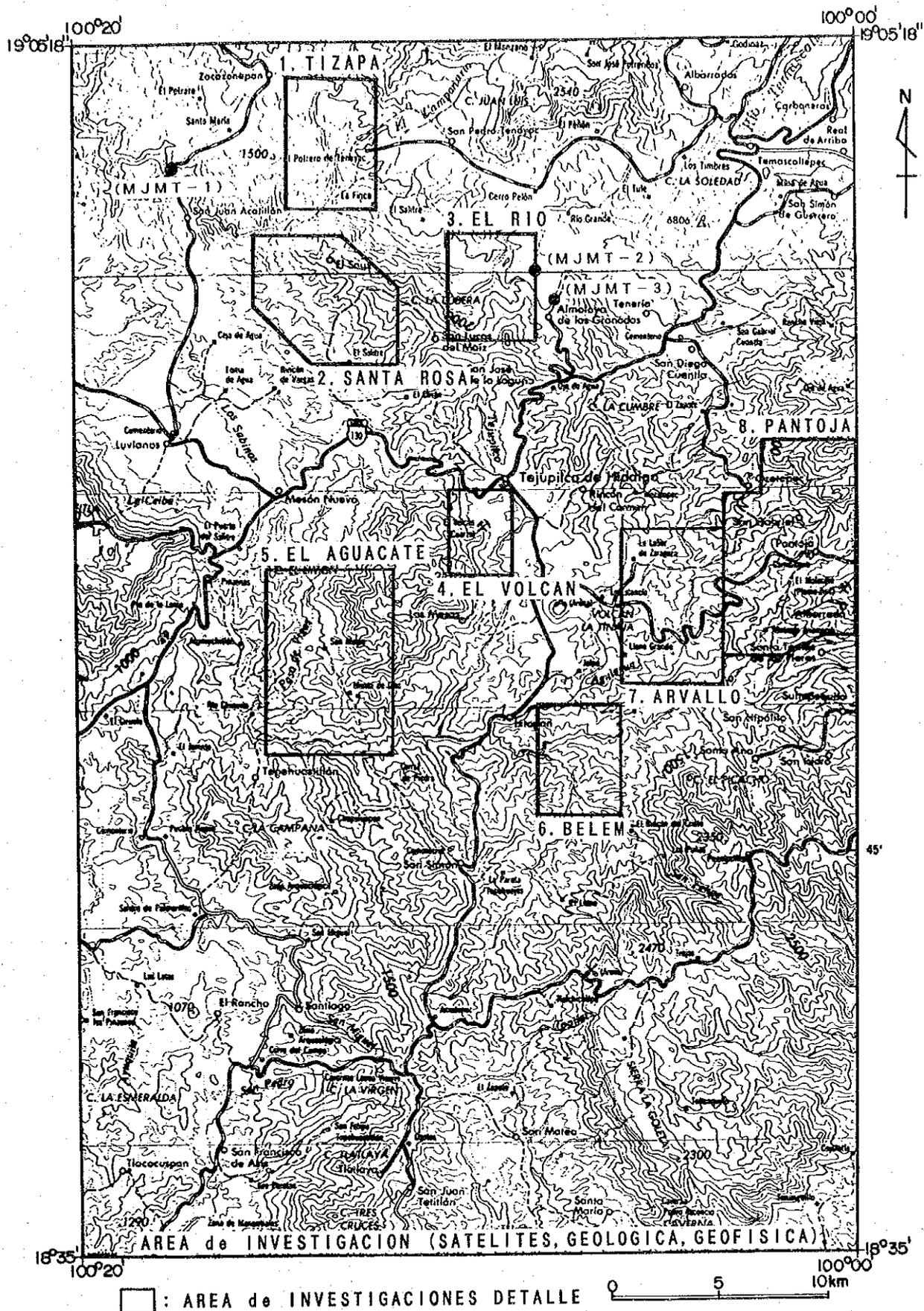


図 1-1-2 調査地域及びボーリング位置図

要 約

本調査はメキシコ合衆国テフピルコ地域において資源開発協力基礎調査を行い、地質状況を解明することにより、鉱床賦存状況を把握することを目的として調査を実施した。

第1年次の調査として、衛星画像解析、既存データ解析、地質調査（鉱微地調査を含む）、物理探査及びボーリング調査を実施した。

衛星画像解析ではフォールスカラー画像及び主成分分析画像により、広域的な地質構造及び岩相分布を把握した。既存データ解析では当地域に関するデータから、本地域の地質状況及び鉱化作用の特徴を把握した。地質調査では画像解析から判明した地質構造などを現地にて確認しながら調査を行い、その結果、二疊系～白亜系のタスコ片岩類が調査地区中央部に南北に分布し、その中央に背斜褶曲軸が存在し、その背斜軸はチサパ付近で北西に緩くプランジしていることが明らかとなった。鉱微地調査結果から、主な鉱床は塊状硫化物鉱床と鉱脈型鉱床に大別された。塊状硫化物鉱床はチサパ鉱床やサンタ・ロサ鉱床などであり、鉱床層準は一層準と考えられ二疊系～白亜系のタスコ片岩類の最上部に胚胎する。鉱床付近には火山性起源の砕屑岩を原岩とする変成岩類が分布し、鉱床とこれらの変成岩類が密接な関係を有していることが判明した。鉱脈型鉱床は大部分がAg-Pb-Znを含む石英脈であり、鉱脈の優勢な方向はNW-SEであることが判明した。物理探査では重力法により当地域の地質構造を把握した。また、ボーリング調査ではMJMT-1、MJMT-2及びMJMT-3の3本で計1002.45mの掘削を行い、MJMT-1では硫砒鉄鉱、白鉄鉱及び黄鉄鉱からなる鉱化帯を、MJMT-2及びMJMT-3では磁硫鉄鉱を主とし、少量～微量の黄銅鉱及び閃亜鉛鉱を含む鉱化帯を把握した。しかしながら、地質調査の結果から判断して塊状硫化物鉱床層準を捕捉するには至らなかった。

以上の調査結果を踏まえ、第2年次の調査として次のことを提案する。

- ・ 塊状硫化物鉱床はチサパ鉱床～サンタ・ロサ鉱床～テフピルコにかけてのNW-SE方向の地区に鉱床賦存のポテンシャルが高い地区として限定することができ、より詳細な地質調査及び岩石地化学探査を行い、さらに、塊状硫化物の露頭もしくは潜頭性の鉱床の賦存が推定されれば、ボーリング調査で確認する必要がある。
- ・ 鉱脈型鉱床はベレン～ナランホ鉱床周辺、サンタ・ロサリア鉱床周辺、エル・マラカテ鉱床周辺の順に探鉱活動の優先順位をあげることができる。これらの地区に対して土壌及び岩石地化学探査により鉱化作用の範囲や連続性を把握し、鉱化帯延長部及び下部延長部についてボーリング調査により鉱化帯地下深部までの連続性を把握することが望ましい。なお、鉱床の経済性や規模を考慮すると塊状硫化物鉱床の探査を優先すべきであろう。

目 次

はしがき
位置図
要 約

第 I 部 総 論	1
第 1 章 序 論	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 第 1 年次調査の範囲、目的及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	3
1-4 現地調査期間	4
第 2 章 調査地域の地理	5
2-1 位置及び交通	5
2-2 地形及び水系	5
2-3 気候及び植生	6
第 3 章 調査地域の既存地質情報	7
3-1 既往調査概要	7
3-2 一般地質（調査地域周辺）	7
3-3 調査地域の地質的位置付け	8
3-4 調査地域の鉱業略史	10
第 4 章 調査結果の総合検討	11
4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について	11
4-2 期待鉱床賦存のポテンシャルについて	11
第 5 章 結論及び提言	13
5-1 結 論	13
5-2 第 2 年次調査への提言	15
第 II 部 各 論	17
第 1 章 衛星画像解析	17
1-1 解析方法	17
1-2 解析結果	17
1-2-1 水系及び地形	17
1-2-2 TMフォールスカラー画像	27
1-2-3 TM主成分分析画像	33
1-2-4 現地調査結果との対比	36
1-3 考 察	38
第 2 章 既存データ解析	40
2-1 解析方法	40

2-2	解析結果	40
2-2-1	地質データの概要	40
2-2-2	地質構造データ	43
2-2-3	年 代	44
2-2-4	鉱床データ	44
第3章	地質調査	52
3-1	調査方法	52
3-2	調査結果	52
3-2-1	地質概要	52
3-2-2	地質各論	54
3-2-3	地質構造	66
3-2-4	鉱徴地調査結果	70
3-3	考 察	121
第4章	物理探査	125
4-1	調査方法	125
4-1-1	測定方法	125
4-1-2	解析方法	134
4-2	調査、解析結果	136
4-2-1	調査結果	136
4-2-2	解析結果	138
4-3	考 察	155
第5章	ボーリング調査	167
5-1	調査方法	167
5-1-1	調査概要	167
5-1-2	工法及び使用機材	167
5-1-3	ボーリング作業	167
5-1-4	掘進状況	173
5-2	調査結果	183
5-3	考 察	191
第Ⅲ部	結論及び提言	197
第1章	結 論	197
第2章	第2年次調査への提言	199
	参考文献（収集データリスト）	201
	付 録	

添付図表類

図 I-1-1	調査地域位置図	
図 I-1-2	調査地域及びボーリング位置図	
図 I-3-1	地質構造区分図	7
図 I-3-2	調査地域地質概要図	9
図 II-1-1	ランドサットTMの画像位置及び解析範囲図	18
図 II-1-2	ランドサットTMフォールスカラー画像(フルシーン)	19
図 II-1-3	ランドサットTMフォールスカラー画像(サブシーン)	21
図 II-1-4	ランドサットTM主成分分析画像(サブシーン)	23
図 II-1-5	地形図上の水系パターン図	25
図 II-1-6	地形図による接峰面図	26
図 II-1-7	リニアメント分布図(地質構造解析図)	29
図 II-1-8	リニアメントのローズダイアグラム	30
図 II-1-9	リニアメント長の頻度分布図	30
図 II-1-10	TMフォールスカラー画像判読図	31
図 II-1-11	TM主成分分析画像の色調分布図	34
図 II-1-12	解析結果図	39
図 II-2-1	地質・鉱徴地概要図	41
図 II-2-2	模式地質層序図	42
図 II-2-3	鉱区位置図	45
図 II-2-4	鉱山・鉱徴地分布図	46
図 II-3-1	模式柱状図	53
図 II-3-2	変形構造の代表例(その1)	67
図 II-3-3	変形構造の代表例(その2)	68
図 II-3-4	変形構造の代表例(その3)	69
図 II-3-5	共役断層	69
図 II-3-6	断層・岩脈のステレオ投影及びローズダイアグラム	72
図 II-3-7	地区別模式柱状対比図	73
図 II-3-8	鉱徴地調査結果図(チサパ地区)	75
図 II-3-9	チサパ鉱化帯スケッチ	77
図 II-3-10	鉱徴地調査結果図(サンタ・ロサ地区)	85
図 II-3-11	サンタ・ロサ鉱床坑内図	87
図 II-3-12	鉱徴地調査結果図(エル・リオ地区)	89
図 II-3-13	エル・リオ鉱床スケッチ	91
図 II-3-14	エル・サリトリージョ鉱徴地スケッチ	93
図 II-3-15	鉱徴地調査結果図(エル・ボルカン地区)	95

図Ⅱ-3-16	鉍徴地調査結果図（エル・アグアカテ地区）	97
図Ⅱ-3-17	サン・ロレンソ鉍床坑内図	100
図Ⅱ-3-18	サンタ・ロサリア鉍床坑内図	101
図Ⅱ-3-19	鉍徴地調査結果図（ベレン地区）	105
図Ⅱ-3-20	鉍徴地調査結果図（アルバージョ地区）	109
図Ⅱ-3-21	パロスドゥルセス沢鉍化露頭	112
図Ⅱ-3-22	鉍徴地調査結果図（パントハ地区）	115
図Ⅱ-3-23	オコテペック鉍徴地位置図	117
図Ⅱ-3-24	エル・マラカテ鉍床露頭	119
図Ⅱ-3-25	鉍脈のステレオ投影及びローズダイアグラム	123
図Ⅱ-4-1	測点及び岩石試料採取位置図	127
図Ⅱ-4-2	地形補正区画概念図	131
図Ⅱ-4-3	G-H相関図	139
図Ⅱ-4-4	等重力線図（密度仮定 2.75 g/cm ³ ）	140
図Ⅱ-4-5	等重力線図（密度仮定 2.67 g/cm ³ ）	141
図Ⅱ-4-6	等重力線図（密度仮定 2.60 g/cm ³ ）	142
図Ⅱ-4-7	等重力線図（密度仮定 1.79 g/cm ³ ）	143
図Ⅱ-4-8	1次傾向面図	144
図Ⅱ-4-9	2次傾向面図	145
図Ⅱ-4-10	3次傾向面図	146
図Ⅱ-4-11	1次残差図	148
図Ⅱ-4-12	2次残差図	149
図Ⅱ-4-13	3次残差図	150
図Ⅱ-4-14	パワースペクトル図	151
図Ⅱ-4-15	フィルター図（短波長）	152
図Ⅱ-4-16	フィルター図（中波長）	153
図Ⅱ-4-17	フィルター図（長波長）	154
図Ⅱ-4-18	密度構造断面図（A-A' 断面図）	157
図Ⅱ-4-19	密度構造断面図（B-B' 断面図）	159
図Ⅱ-4-20	密度構造断面図（C-C' 断面図）	161
図Ⅱ-4-21	密度構造断面図（D-D' 断面図）	163
図Ⅱ-4-22	重力異常解析平面図	166
図Ⅱ-5-1	ボーリング位置図（M J M T - 1）	168
図Ⅱ-5-2	ボーリング位置図（M J M T - 2 及び M J M T - 3）	169
図Ⅱ-5-3	ボーリング柱状図	巻末
図Ⅱ-5-4	地質断面図（M J M T - 1）	192

図Ⅱ-5-5	地質断面図 (MJMT-2)	193
図Ⅱ-5-6	地質断面図 (MJMT-3)	194
図Ⅱ-5-7	模式地質断面図	195
表Ⅰ-1-1	調査数量一覧表	2
表Ⅱ-1-1	TMフォールスカラー画像判読結果一覧表	32
表Ⅱ-1-2	サブシーン図画内(バンド1~5、7)の主成分分析結果一覧表	33
表Ⅱ-1-3	TM主成分分析画像色調判読結果一覧表	35
表Ⅱ-2-1	鉍山・鉍徴地一覧表	47
表Ⅱ-3-1	層序対比表	55
表Ⅱ-3-2	岩石薄片観察結果一覧表	56
表Ⅱ-3-3	全岩分析結果一覧表	58
表Ⅱ-3-4	鉍石研磨片観察結果一覧表	78
表Ⅱ-3-5	鉍石分析結果一覧表	80
表Ⅱ-3-6	鉍床・鉍徴地調査結果一覧表	82
表Ⅱ-4-1	岩石試料密度測定結果一覧表	巻末
表Ⅱ-4-2	地層別平均密度一覧表	137
表Ⅱ-5-1	使用機器一覧表	170
表Ⅱ-5-2	使用消耗品一覧表	171
表Ⅱ-5-3	ダイヤモンドビット、リーマー使用状況一覧表	172
表Ⅱ-5-4	ボーリング工事工程表	174
表Ⅱ-5-5	掘進実績表 (MJMT-1)	175
表Ⅱ-5-6	掘進実績表 (MJMT-2)	176
表Ⅱ-5-7	掘進実績表 (MJMT-3)	177
表Ⅱ-5-8	掘進実績表 (MJMT-1B)	178
表Ⅱ-5-9	岩石薄片鑑定結果一覧表 (ボーリング)	179
表Ⅱ-5-10	鉍石研磨片鑑定結果一覧表 (ボーリング)	180
表Ⅱ-5-11	鉍石分析結果一覧表 (ボーリング)	181
表Ⅱ-5-12	X線回折結果一覧表	182

写真

顕微鏡写真	巻末
-------	----

別添図

- 別添図Ⅱ-3-1 地質図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-3-2 地質断面図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-3-3 試料採取位置図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-3-4 鉍徴地調査結果図 (チサパ地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-5 鉍徴地調査結果図 (サンタ・ロサ地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-6 鉍徴地調査結果図 (エル・リオ地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-7 鉍徴地調査結果図 (エル・ボルカン地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-8 鉍徴地調査結果図 (エル・アグアカテ地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-9 鉍徴地調査結果図 (ベレン地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-10 鉍徴地調査結果図 (アルバージョ地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-11 鉍徴地調査結果図 (パントハ地区) (1:10,000)
- 別添図Ⅱ-3-12 鉍石分析結果図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-1 測点位置図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-2 等重力線図 (密度仮定 2.75 g/cm³) (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-3 等重力線図 (密度仮定 2.67 g/cm³) (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-4 等重力線図 (密度仮定 2.60 g/cm³) (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-5 等重力線図 (密度仮定 1.79 g/cm³) (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-6 1次残差図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-7 2次残差図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-8 3次残差図 (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-9 フィルター図 (短波長) (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-10 フィルター図 (中波長) (1:50,000)
- 別添図Ⅱ-4-11 フィルター図 (長波長) (1:50,000)

第 I 部 總 論

第 1 部 総 論

第 1 章 序 論

1-1 調査の経緯及び目的

テフピルコ (Tejupilco) 地域は調査地域位置図に示すとおりメキシコ合衆国の略々中央部に位置し、塊状硫化物鉱床の賦存可能性が高く、鉱物資源局 (Consejo de Recursos Mimerales、以下CRM) による探鉱作業が精力的に進められている地域である。特に、同地域内のチサパ (Tizapa) 地区では経済性の高い層状硫化物鉱床 (1987年から1991年資源開発協力基礎調査アルセリア (Arcelia) 地域) が捕捉されている。従って、メキシコ政府は当地域の資源開発協力基礎調査を日本国政府に要請してきた。日本国政府はこの要請に応じて、当地域において地質状況を解明することにより、鉱床賦存状況を把握することを目的として調査を実施した。

1-2 第 1 年次調査の範囲、目的及び作業の概要

テフピルコ地域は次の 4 点で囲まれた範囲である。

北西限：北緯 $19^{\circ} 05' 18''$ 西経 $100^{\circ} 20' 00''$

北東限：北緯 $19^{\circ} 05' 18''$ 西経 $100^{\circ} 00' 00''$

南西限：北緯 $18^{\circ} 35' 00''$ 西経 $100^{\circ} 20' 00''$

南東限：北緯 $18^{\circ} 35' 00''$ 西経 $100^{\circ} 00' 00''$

第 1 年次の調査として、衛星画像解析、既存データ解析、地質調査、物理探査及びボーリング調査を実施した。これらの調査は下記のことを目的とした。

- (a) 衛星画像解析により、広域的な地質構造及び岩相分布を把握する。
- (b) 地質、鉱徴地、物理探査及び地化学探査等の既存資料を収集・解析することにより、本地域の地質状況及び鉱化作用の特徴を把握する。
- (c) 地質調査により、衛星画像解析結果を現地にて確認するとともに、本地域の地質構造を解明する。また、鉱徴地調査を行い、鉱徴の評価をするとともに次年度以降に実施する調査への優先順位を決定する。
- (d) 物理探査 (重力法) により、本地区の地質構造を把握し、鉱化作用との関係を明らかにするよう努める。
- (e) ボーリング調査により、鉱化帯の延長部及び地下深部までの連続を把握するとともに鉛・亜鉛・銀・金の胚胎状況を明らかにする。

作業の内容は、表 I-1-1 に示すとおりである。

表 I - 1 - 1 調査数量一覧表

調査方法	調査数量等	分析項目及び成分	数量
①衛星画像解析	調査面積 1,784 km ² (全域)	・フォールスカラー画像 (フルゾーン) ・フォールスカラー画像 (調査範囲) ・主成分分析	1 種類 1 種類 1 種類
②地質調査	調査面積 1,784 km ² 踏査距離 400 km 鉍徴調査 23ヶ所 (92 km ²)	・岩石薄片 ・鉍石研磨片 ・分析 鉍石 (Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Fe) 岩石 (SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , LOI)	105 枚 56 枚 104 件 27 件
③物理探査	調査面積 1,784 km ² 測点数 900 点	・密度測定	79 件
④ボーリング調査	ボーリング 3 本 総掘進長 1,000 m	・岩石薄片 ・鉍石研磨片 ・分析 (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Fe) ・X線回折	23 枚 22 枚 33 件 19 件

ボーリング調査

孔名	計 画		実 績	
	掘進長	傾斜	掘進長	傾斜
MJMT-1	300 m	-90°	300.10 m	-90°
MJMT-2	350 m	-90°	350.75 m	-90°
MJMT-3	350 m	-90°	351.60 m	-90°

なお、MJMT-1の20m東に離れた地点において242.00mまで掘進を行ったが、崩壊が著しいために掘削を中止したボーリング孔があり、これをMJMT-1Bとして記載した。

1-3 調査団の編成

本プロジェクト推進のための調査計画、協定締結の折衝及び現地調査に参加した調査団員は次のとおりである。

調査計画及び折衝

日本側

横川 勝美
青山 正幸
池田 肇
霜鳥 洋
中村 勝隆

金属鉱業事業団
通産省資源エネルギー庁
国際協力事業団資源調査課
金属鉱業事業団
金属鉱業事業団メキシコ調査員

メキシコ側

Fernel Arvizu Lara
Carlos G. Rivera y Villasana
Raymund Barcena y Lopez
Jose Cardenas Vargas
Jose Luis Edgar Rodoriguez Medina
Roberto Montoya Hernandez
Raul Maldonado Ramirez
Roberto Cedillo Calvillo

鉱物資源局
鉱物資源局
鉱物資源局
鉱物資源局
鉱物資源局
鉱物資源局
鉱物資源局
鉱物資源局

現地調査

日本側

増淵 和芳
藤原 茂久
植田 和幸
今野 宏秀
棚橋 道郎
岩城 倉栄
石橋 利久

統括・技術責任者	同和工営株式会社
地質調査	同和工営株式会社
地質調査	同和工営株式会社
地質調査	同和工営株式会社
物理探査	同和工営株式会社
物理探査	同和工営株式会社
物理探査	同和工営株式会社

メキシコ側

Jose Antonio Herrera Maguey	総括	鉱物資源局
Roberto Cedillo Calvillo	地質調査	鉱物資源局
Pascual Ezequiel Gonzalez Monsivais	地質調査	鉱物資源局
Raucel Pascacio Toledo	物理探査	鉱物資源局
Amancio Reyes Salazar	物理探査	鉱物資源局

現地指導監督

鈴木 哲夫

両角 春寿

広川 満哉

小島 和浩

福田 皎二

金属鉱業事業団

金属鉱業事業団

金属鉱業事業団

金属鉱業事業団メキシコ調査員

国際鉱物資源開発協力協会

1-4 調査期間

現地調査は下記の工程で実施された。

現地調査：1991年 9月 2日～12月20日

既存データ解析：1991年 9月 2日～ 9月11日

地質調査：1991年 9月12日～12月10日

物理探査：1991年 9月16日～12月17日

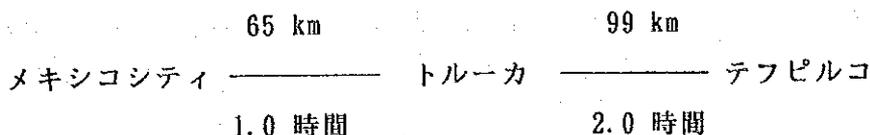
ボーリング調査：1991年10月18日～12月20日

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

本地域は、メキシコ合衆国中央部のメキシコ (Mexico) 州の南西部に位置し、首都メキシコシティ (Ciudad de Mexico) から南西方の直距離約100 kmのテフピルコをほぼ中心とし、東西35 km、南北55 kmの範囲にあたる (図 I-1-1、図 I-1-2)。

本年次は、調査のベースキャンプをテフピルコに置いた。首都メキシコシティからの交通手段、距離及び所要時間は次のとおりである。



メキシコシティからトルーカ (Toluca) までは高速道路があり、さらに調査地までは山岳部を通る国道がある。カーブは多いがメキシコシティ～テフピルコ間は舗装されており、道路事情は良好で乾期、雨期を問わず通行可能である。メキシコシティ～トルーカ及びトルーカ～テフピルコ間はバスが頻繁にある。メキシコシティからテフピルコ間の直通バスも1時間間隔であり、所要時間は約5時間を要する。乗用車で高速道を利用した場合は約3時間でメキシコシティからテフピルコに至る。

2-2 地形及び水系

調査地域は、メキシコ合衆国中央部で東西方向に発達する新期火山帯 (Trans-Mexican Volcanic Belt) の標高約700～2,600mの山岳地帯に位置する。特に、北東部では、セロ・ファン・ルイス (Cerro Juan Luis) やセロ・エル・ペニョン (Cerro El Penon) などの2,000m以上の孤峰が連立している。

地形は地質を明瞭に反映し、全体的には壮年期の開析が進んだ複雑な山脈であるのに対し、北部及び中央部には火山地形があり、小規模の火山噴石丘が分布している。これらの火山噴石丘のまわりには初期の開析を受けた溶岩域があり、典型的な平坦な溶岩台地地形を呈している。調査地北部ではテマスカルテペック川 (Rio Temascaltepec) 及びその支流がこの溶岩台地を侵食し急峻な渓谷地形を呈している。また、北部及び南東部には広範囲に第三系の流紋岩類が分布し、急峻な山岳地形を形成している。南西部には花崗岩が分布し、比較的平坦で標高700m級の当地域の低地部を形成している。

主な水系は、地区北部で西流するテマスカルテペック川と中央部のテフピルコ付近から南西部に於て西流するサン・フェリペ川 (Rio San Felipe) 及び地区南部で南流するトピラル川 (Rio Topilar) の3河川であり、これらの河川の支流は樹枝状水系を呈する。北部のテマスカルテペック川ではテフピルコ市とサカソナパン (Zacazonapan) 市、テマスカルテペック市の境界をなしている。また、テフピルコの南部で南流するテフピルコ川やアキアグア川 (Rio Aguiagua) などが合流し、流れを西方に変えてサン・フェリペ川 (Rio San

Felipe)に注ぐ。一般にこれらの河川では急峻な溪谷地形を呈しているために流れが急であり、特に、雨期には橋以外には川を渡ることが困難である。

2-3 気候及び植生

調査地域の気候は亜湿潤温帯性である。しかし、全体的には高地の山岳地帯に位置するため、気候は温暖で典型的な夏季降雨・冬季乾燥型である。調査地区中央部のテフピルコの年間総雨量は約1,000mmを越え、平均気温は22℃以上である。雨期は6月から9月であり、この間の月平均降水量は240mm~250mmである。このうち6月は降水量が最も多く260~270mmである。乾期は10月から5月であり、あまり雨が降らない。特に2月~3月は月平均5mm程度である。最高気温は4月の35~37℃、最低気温は1月の2℃前後である。調査地域南部及び西部では湿潤亜温帯性気候であり、年間総雨量800~1,200mm、平均気温は18~22℃程度である。

植生は気候と地形の変化同様に多種多様な種類がみられる。特に、標高の差により植生が異なっており、2,500 m以上の山岳部では松やメキシコモミの木などであり、2,500 ~ 1,600m付近は松、クルミ、ギンモクセイ、ヤナギ、クワなどが生えている。また、1,600 m以下の地区にはヤシ、オレンジ、アボガド、パパイヤなどの樹木のほか、サトウキビ、バナナ、ヘチマ、クロイチゴ、ハナシノブ、ノバルサボテンなどの草木が生えている。また、薬草としてはジャスミン、テペチクレ、アオイ、キリストノカンムリ、シダ、ハコベ、イヌアリタソウなど多くのものがみられる。

動物は当地区で最も一般的なものとして、鹿、コヨーテ、キツネ、リス、ヤマネコ、アルマジロ、兎、掘りネズミなどがみられる。また、鳥類では、イヌワシ、ヒゲワシ、ヒメコンドル、フクロウ、カササギ、ハト、キツツキ、スズメ、ツグミ、キジ、サギ、ウズラクイナ、ツバメなどが生息している。これらの他にサソリやタランチェラなどのような色々な種類の昆虫やクモ類もみられる。サソリは野外の大きな石の下によく生息しているほか、テフピルコの町中の家々の中にもよく侵入してくるので注意を要する。

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既往調査概要

CRMは、1977年に“新期火山帯”と呼ばれる鉛生成区について衛星画像の解析を行った。その結果、本地帯には塊状硫化鉛生成に関係する火山性起源の変成岩が分布することが判明した。また、この結果を踏まえ、本調査地域内のチサパ(Tizapa)地区で本格的に広域地質調査が開始された。さらにチサパ鉛床の南6kmにはサンタ・ロサ(Santa Rosa)鉛化帯が存在し、ペニョーレス(Penores)社により坑道が開削されており、チサパ地区とその近隣地区は有望探鉛地区であることが判明した。1979年から1982年にかけて地質調査、物理探査、地化学探査、ボーリング調査、坑道探鉛、立坑開削が実施された。さらに、1987年～1991年にかけて実施された資源開発協力基礎調査により、その全容が解明され、その結果、鉛化帯は地表下80～290mにあり、鉛床の最大厚さ20m、延長約420m、鉛量560万トン(平均品位Au 1.6 g/t、Ag 246 g/t、Cu 0.68%、Pb 1.24%、Zn 6.00%、Fe 30.76%)と評価された。

3-2 一般地質(調査地域周辺)

本地域は、図1-3-1に示すように区分されたメキシコの構造帯のうち、新期火山地帯のほぼ中央部に位置する。この新期火山地帯は、メキシコ中央部をWNW-ESE方向に太平洋側からメキシコ湾側のベラクルス州にかけて横切るものであり、中新世以降現在に至るまで活発な火山活動が続いている。本地域にはこれらに関連する岩石のほかに二畳系～白亜系の変成岩類～弱変成岩類、第三系、第四系などが分布する。

変成岩類には、アロヨフリオ(Arroyo Frio)片麻岩、タスコ(Taxco)片岩類、石灰質層群に区分される。アロヨフリオ片麻岩はチサパ南東の沢にだけ分布し、花崗岩質岩を起源としている。タスコ片岩類は泥質片岩を主とし、部分的に火山岩を起源とする片岩が卓越する。この変成岩類は、本地域の中軸部を南北に分布し塊状硫化物鉛床を胚胎する。この変

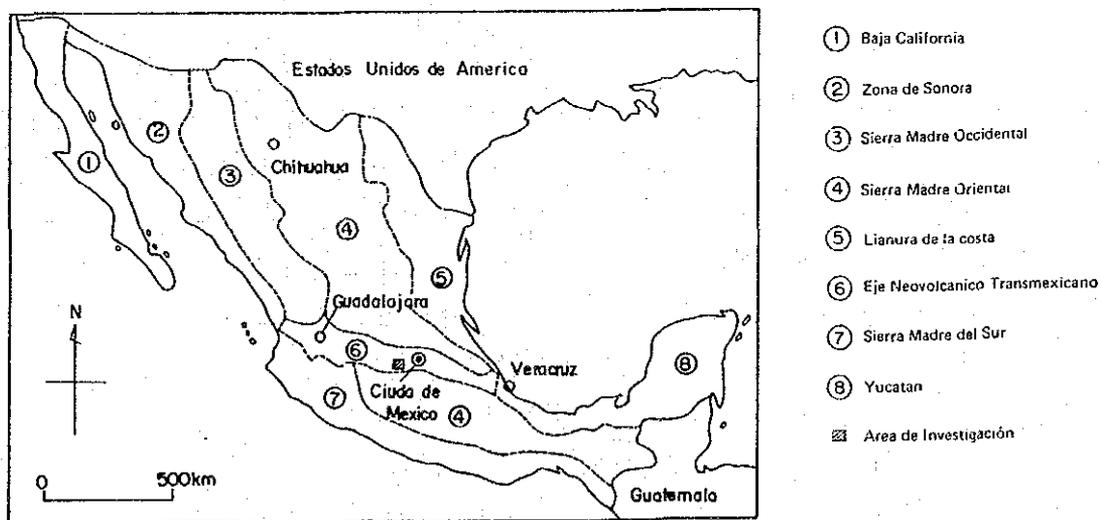


図1-3-1 地質構造区分図

成岩類を取り囲むように石灰質層群が分布している。石灰質層群は、石灰質粘板岩、緑色火山岩類、石灰質砂岩、粘板岩などからなり、塊状硫化物鉱床の上盤を形成している。これらの変成岩類の正確な年代はまだ求められていないが、タスコ片岩のRb-Sr法では 180 ± 44 Maの値が得られ、ジュラ紀中期に対比されている（Parga Perezほか、1981）。また、タスコ片岩類のトラトラヤ（Tlatlaya）付近に分布する試料からK-Ar年代として 79 ± 5 Ma（Friesほか、1965）が得られているが、花崗岩の貫入の影響があると考えられている。また、タスコ片岩類に胚胎するチサパ鉱床産鉱石のPb-Pb年代測定は資源開発協力基礎調査（1991）で実施し、1.0～1.5億年の値が得られており、これはジュラ紀～白亜紀にあたる。

第三系は、バルサス(Balsas)層とティルサポトラ(Tilzapotla)流紋岩類からなる。バルサス層は安山岩質溶岩、礫岩及び砂岩・泥岩互層からなり、ティルサポトラ流紋岩類は流紋岩類、溶結凝灰岩を主とし、安山岩溶岩及び安山岩質火砕岩を伴う。この流紋岩類は特徴的な火砕流台地を形成している。

第四系は、玄武岩溶岩、スコリア丘、沖積層からなる。玄武岩溶岩は地形的に明瞭な溶岩流地形と台地を形成しており、スコリア丘を伴う場合が多い。沖積層はテフピルコ、ルビアノス(Luvianos)などの盆地や河川沿いに分布し、未固結の礫・砂を主としている。

貫入岩類は、花崗岩類、岩脈・岩床などからなる。花崗岩類は岩株状のものが北部及び南部に分布し、周囲の変成岩類に熱変成作用を及ぼしている。岩脈・岩床類には、パイロキシナイト、はんれい岩～閃緑岩、安山岩、デイサイト～流紋岩などがある。

3-3 調査地域の地質的位置付け

テフピルコ地域の地質概要図を図I-3-2に示す。

本地域では二畳系～白亜系の変成岩類（アロヨフリオ片麻岩、タスコ片岩類）が地域中軸部に分布し、これを取り囲むように石灰質層群の堆積岩類、第三系の堆積岩類及び火山岩類（バルサス層、ティルサポトラ流紋岩類）、貫入岩類（花崗岩類、岩脈・岩床）が分布している。これらを覆って新規火山帯の第四系火山岩類が分布する。

二畳系～白亜系の変成岩類のうち、アロヨフリオ片麻岩は花崗岩質岩を起源としている。タスコ片岩類は、泥質片岩、砂質片岩及び堆積岩～火山岩起源の雲母片岩・緑泥石片岩から構成され、石灰質層群の堆積岩類に整合に覆われる。変成度は初生鉱物の一部が顕微鏡下で観察されることから中～低度の変成度を示す。石灰質層群は石灰質千枚岩、緑色火山岩層、石灰質砂岩、粘板岩からなる。上位のものほど変成度は低くなる。

第三系の堆積岩類（バルサス層、ティルサポトラ流紋岩類）は陸成の礫岩・砂岩・シルト岩からなり、火山岩類は流紋岩、安山岩質玄武岩などからなる。

第四系は玄武岩～安山岩溶岩、噴石丘、沖積層などからなる。

貫入岩類は花崗岩類、石英安山岩、玄武岩などからなる。

地質構造として、二畳系～白亜系の変成岩類は、走向がNNW～SSEで、傾斜はWまたはEを示

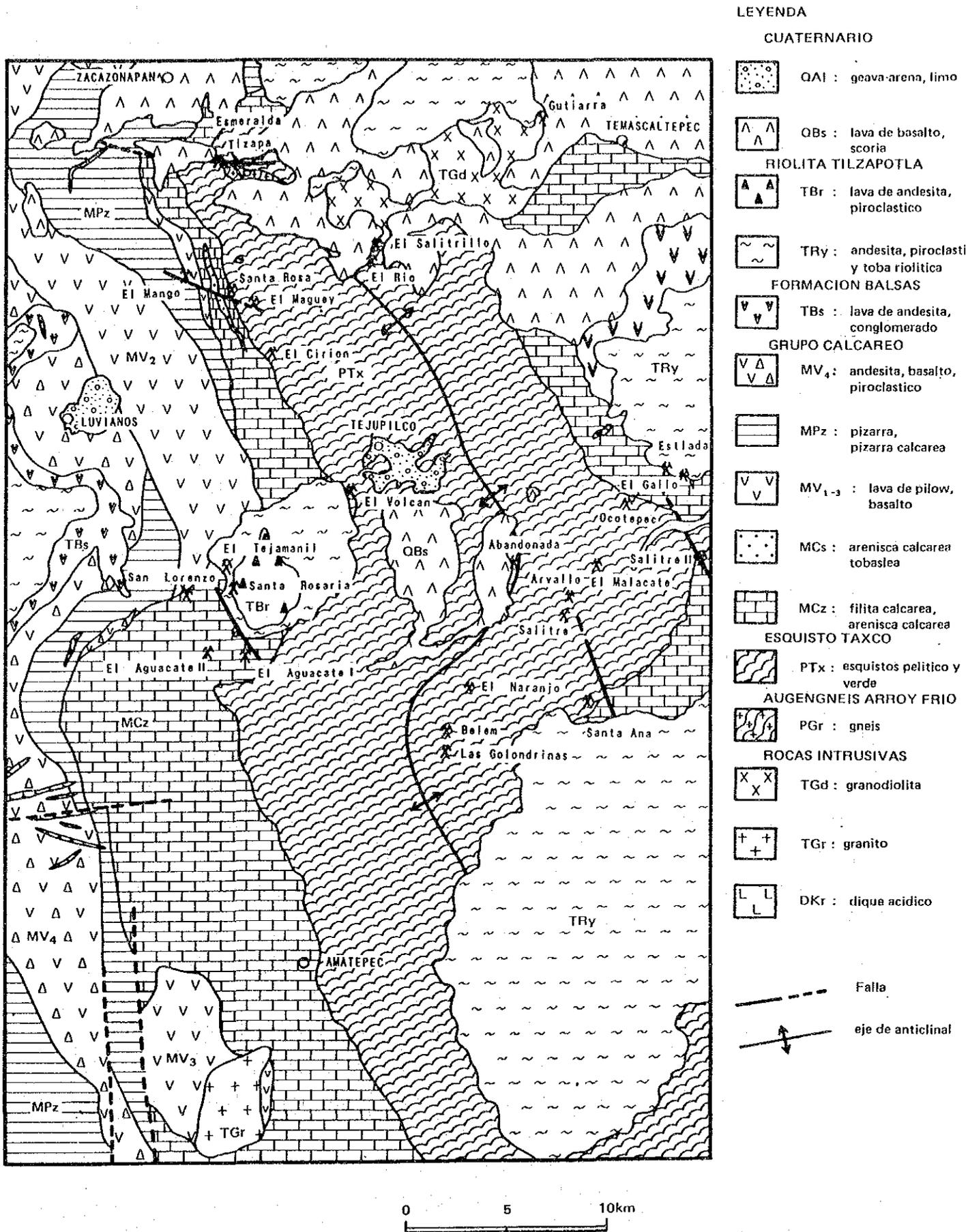


图 1-3-2 调查地域地质概要图

し、同方向の葉状構造を伴う。この方向は本地区の基本的な構造方向を示し、変成作用はコルディレラ造山運動によって生じたものである。白亜系はコニャック期末期に重力的な構造運動を被り、非対象褶曲を生じるとともに、本地域の中軸部が相対的に上昇した。褶曲軸の方向はN-S方向を示す。その後、新第三紀中新世には地区西方の沈降にともない、多数の断層が発達した。主要断層の方向はNW-SE、N-S、E-Wであり、この弱線を通して、第三系の火山岩類・貫入岩類が噴出・貫入した。

二畳系～白亜系のタスコ片岩類の走向はNNW-SSEで、傾斜はWまたはEを示し、最大20kmの幅で南方に100km以上連続して分布し、チサパ鉱床などの塊状硫化物鉱床が胚胎している。この変成岩類のどのようなところにチサパ鉱床と同一の地質層準が分布するかまだ十分解明されていない。しかし、本地域にはサンタ・ロサなどの塊状硫化物鉱床も存在することから、本地域はこの型の鉱床胚胎の場として高いポテンシャルを持つものと考えられる。

また、第三系のデイサイト～流紋岩中には多くの鉱脈型鉱床が分布しているが、それらの鉱化作用の特性や鉱化規制などについてもまだ十分解明されていない。しかし、エル・マラカテ(El Malacate)鉱山のように近年まで採掘が行われた鉱山をはじめ多数の鉱山が分布していることなどから、本地域は鉱脈型鉱床胚胎の場としてもポテンシャルの高い地域であると考えられる。

3-4 調査地域の鉱業略史

テフピルコ地域では、現在稼行中の鉱山は1991年8月から採掘を開始したギターラ(Guitarra)鉱山だけである。この鉱山は金・銀を採掘対象とした鉱脈型鉱床である。現在、約30名が鉱山で働いている程度の小規模なものである。かつて、稼行された鉱山としては、塊状硫化物型鉱床のサンタ・ロサ、鉱脈型鉱床のラス・ゴロンドリナス(Las Golondrinas)、エル・テハマニル(El Tejamanil)、アバンドナーダ(Abandonada)、アルバージョ(Arvallo)、エル・ボルカン(El Volcan)、エル・マラカテなどがある。鉱脈型鉱床は、石英を採掘したエル・ボルカン鉱床以外はいずれも金・銀を採掘対象としたものである。また、塊状硫化物型といわれているエル・リオ(El Rio)は探鉱だけの可能性がある。いずれの鉱山も稼行実績が文献として残っていない。

塊状硫化物型鉱床からなるサンタ・ロサ鉱山は、テフピルコの北西約10kmに位置し、水平坑道約45mのほかに斜坑が数10mあり入坑可能である。現在坑口はレベルが異なる2箇所があり、これらは坑内で連続している。ボーリング探鉱を10数本以上行ったようであり、ボーリング基地及び搬入道路跡が認められる。

エル・マラカテ鉱山は鉱脈型鉱床からなり、1990年まで採掘が行われた。大部分は露天掘で、一部坑内掘りが行われた跡がみられる。現在、発電などの鉱山施設が残っており、鉱山周辺への道路状況もよく、通行可能である。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について

本地域は広域地質構造上新期火山帯に属するが、本地域の南東にかけて二疊系～白亜系のタスコ片岩類が新生代の火山岩類に覆われながら広く分布する。このタスコ片岩類の分布域はテフピルコ隆起帯 (Levantamiento de Tejupilco) といわれる基盤の隆起帯にあたる。このタスコ片岩類は10～20 kmの幅でほぼ南北方向に広く分布し、その中央部をとおるテフピルコ背斜構造が明らかとなった。この褶曲軸はチサパ付近の地層分布形態などからNW方向にプランジしていると推定される。また、調査地域の中央部ではさらに新しいE-W系の褶曲軸により曲げられている。これらの褶曲作用は第三系のバルサス層やティルサポトラ流紋岩類には及んでいない。このほか、タスコ片岩類には広域変成作用の結果形成されたと考えられる劈開を伴う褶曲構造が広く発達している。また、石灰質層群の石灰質粘板岩中にも曲げタイプの褶曲がみられる。

本地域にみられる鉱床の主なものは、層状規制型の塊状硫化物鉱床と鉱脈型鉱床である。

塊状硫化物鉱床であるエスメラルダ (Esmeralda)、チサパ及びサンタ・ロサ鉱床は、地理的には調査地域北西部に位置し、ほぼ南北方向の約10 km間に並ぶ。これらの鉱床はほぼ同一層準であるタスコ片岩類の最上部に胚胎する。鉱床上盤は石灰質層群の石灰質粘板岩が分布し、鉱床近傍及び下盤には主に火山岩起源の緑色片岩や酸性片岩がみられ、火山活動と密接な関係があることが判明した。また、塊状硫化物鉱床とされていたエル・リオ鉱床は、チサパ鉱床などより下位層準でありながら鉱石は変成作用を受けていないことなどから鉱脈型鉱床に属すると考えられる。

鉱脈型鉱床は、主に調査地域中央部の東西ゾーンに集中して分布する傾向がみられる。鉱床はAg-Pb-Zn石英脈を主とし、タスコ片岩類～ティルサポトラ流紋岩類を切る断層・断裂中に胚胎している。流紋岩貫入岩中にもベレン (Belem)、パントハ (Pantoja)、アルバージョ地区では多くの鉱脈が認められ、鉱化作用は流紋岩質火成活動に引き続いて形成された可能性が高い。鉱脈型鉱床の大規模なものは、ティルサポトラ流紋岩類や貫入岩類よりもタスコ片岩類や石灰質層群中に多い傾向にあり、母岩の物理的性質を反映していると考えられる。鉱脈方向はほとんどのものがNW-SE系であり、ほぼ同時期に形成したことを示している。N-S系及びE-W系の脈も存在するが劣勢であり、これらに伴うものは低品位である。

4-2 期待鉱床賦存のポテンシャルについて

本調査地域に分布する主な鉱床は塊状硫化物鉱床と鉱脈型鉱床である。塊状硫化物鉱床にはチサパ鉱床やサンタ・ロサ鉱床があり、これらの鉱床は二疊系～白亜系のタスコ片岩類の最上部に位置し、これらの鉱床付近には火山性起源の碎屑岩を原岩とする片岩類が分布しており、鉱床とこれらの片岩類が密接な関係を有していることが判明した。この層準は調査地区内に広く分布しており、鉱床賦存のポテンシャルの高い地域と判断できる。

鉱脈型鉱床は大部分がAg-Pb-Znを含む石英脈であり、鉱脈の優勢な方向はNW-SEであることが地質調査結果から明らかとなった。当地域にはエル・マラカテ鉱床の10~20m×1kmに及ぶ大規模の鉱脈も存在しているほか、一部の鉱脈は第四系などの上位の地層などで覆われている。また、サンタ・ロサリア(Santa Rosaria)鉱床ではAu 5.12g/t、Ag 7,824g/tと高品位の鉱石が坑内にあるほか、ベレン鉱床ではAu 9.88g/t、Ag 7,118g/tと高品位の露頭も発見できた。よって、鉱脈型鉱床賦存のポテンシャルの高い地区としてエル・マラカテ鉱床周辺、サンタ・ロサリア鉱床周辺及びベレン鉱床周辺をあげることができる。

第5章 結論及び提言

5-1 結論

本年次は衛星画像解析、既存データ解析、地質調査、物理探査及びボーリング調査を行った。

- ① 衛星画像解析結果、フォールスカラー画像からはタスコ片岩類、石灰質層群、バルサス層、ティルサポトラ流紋岩類、第四系の火山地形などの境界を判読した。そのリニアメント判読図からは、調査地域中央部～南西部では褶曲構造に伴う地質構造を反映したリニアメント、中央部～南東部ではNW-SE方向のリニアメントが抽出され、これらは当地域に分布する鉱脈型鉱床の走向を示す。また、主成分分析画像では第1主成分の寄与率が93.8%で、地形の凸凹による各バンドスペクトルの輝度の変化に大きく影響されている。第2主成分～第4主成分の寄与率はそれぞれ2.9%、2.5%、0.4%を示し、第1～第4主成分の寄与率の合計は99.6%で、データの大部分の情報を集約している。本地域は亜湿潤温帯の気候にあたり、しかも地形の標高差が2000mほどあり多種多様の植物が繁茂しているほか耕作地や牧草地が不規則な形で広く分布している。主成分分析結果と現地調査結果の対比から、第1主成分は主に地形の凸凹、第2主成分及び第3主成分は植生の違いを反映していることが判明した。第4主成分は岩石、土壌、道路、家屋などの非植生分布地域に対応しているが、地質情報以外のものが多いために地質情報の変化幅が植生変化の違いに覆い隠され、岩相区分との対応が弱い。よって、本地区では主成分分析は岩相区分との対応が弱く有効でなかった。
- ② 既存データ解析の結果、本調査地域に関する資料の多くはCRMによる鉱床調査プロジェクトの報告書であり、そのほかは地質図幅、メキシコ国立自治大学関係論文などである。地質層序などは‘テフピルコ図幅’(Cserna, 1982)に詳しい記載がある。鉱床についてはCRMによる調査が大部分であり、本地域に分布する鉱床は塊状硫化物鉱床、鉱脈型鉱床及び不規則水銀鉱床である。資料において、黒鉱タイプや塊状鉱床と記載されているものの大部分は現地調査結果では鉱染鉱床であり、塊状硫化物鉱床にあたるものは2～3の鉱床だけであった。鉱脈型鉱床は大部分がAg-Pb-Znを主とする鉱脈で、調査地区中央部に主に分布しているが、調査地区北東部には1991年8月から操業をはじめたギターラ鉱山が唯一の稼働鉱山として銀を対象に石英脈を採掘している。また、不規則水銀鉱床は調査地区南部から調査地域外に分布するが、いずれも小規模である。また、物理探査、地化学探査、ボーリング資料などについてはデータが少なかったが、収集できたものは現地調査及び解析に利用した。
- ③ 地質調査の結果、当地域に分布する鉱床の主なものは塊状硫化物鉱床と鉱脈型鉱床であり、塊状硫化物鉱床の層準が明らかとなった。すなわち、チサパ鉱床及びサンタ・ロサ鉱床は同一層準に胚胎し、本地域の塊状硫化物鉱床の胚胎層準は広義の意味において一枚である。鉱床層準の上盤には石灰質層群の石灰質粘板岩があり、下盤にはタスコ片

岩類の緑色片岩や泥質片岩が認められる。また、鉱床が分布する区域にはタスコ片岩類中の酸性片岩や緑色片岩が広く分布し、鉱床近傍に火成活動があったことを示唆している。このほか、鉱脈型鉱床（Ag-Pb-Zn）においては、大部分がNW-SE系の走向を示す。この方向の鉱脈においてはAgが7,000g/t以上と高品位を示すものがベレン鉱床の露頭やサンタ・ロサリア鉱床などで確認された。また、他の方向を示す鉱脈は脈の発達や品位的にも劣性である。

- ④ 重力法による物理探査の結果、テフピルコ背斜構造に重複する低重力帯が3箇所で見出された。これらは花崗閃緑岩や貫入岩体に対応している。また、3次残差異常図の負異常部に鉱脈型鉱床はほとんど入り、第三紀に形成された断裂構造や基盤の落込みと鉱化作用が関連していると考えられる。
- ⑤ ボーリング調査結果、調査地域北西部で実施したMJMT-1において、39.30～51.50mの白色粘土化した凝灰角礫岩中に黄鉄鉱、白鉄鉱、硫砒鉄鉱などからなる鉱化帯や252.00～252.20mに輝安鉱・石英からなる鉱化帯などを把握した。大部分のものは脈状を呈する鉱石であるが、一部に礫状を呈するものもみられた。しかし、礫状を呈する部分と鉱脈部の鉱石は類似の鉱物組合せ及び化学組成を示し、Au 0.01g/t以下、Ag 1g/t以下、Cu, Pb, Znともに0.01%前後であり、礫状部も鉱脈型鉱石の一部と推定される。また、本孔の孔底深度300.10mには粘板岩～千枚岩が分布しており、チサパなどの塊状硫化物鉱床の胚胎層準はさらにその深部になると判断される。また、当ボーリングより20m東で行ったMJMT-1BはMJMT-1と同様な地質であると同時に38.90～50.15m、166.50～171.10mなどに硫砒鉄鉱-黄鉄鉱-白鉄鉱などからなる鉱化帯や102.60～105.45mに輝安鉱・石英からなる鉱化帯を把握した。しかし、いずれも細脈であり地質状況や鉱物組合せ及び化学分析結果などから判断すると、本ボーリング付近は鉱床胚胎の場としてのポテンシャルは低い地区と判断される。

また、調査地区中央北部のエル・リオ鉱床東方約2kmで実施したMJMT-2では、220.00m、241.90m、318.00m、334.30m付近などに磁硫鉄鉱を主とし、少量～微量の黄銅鉱及び閃亜鉛鉱を伴う鉱染帯や数cmのバンドを把握した。また、MJMT-2の南東約1.5kmで実施したMJMT-3は、240.70～241.00m、250.10～250.35mなどで磁硫鉄鉱のバンド及び鉱染が認められたほか、276.60～277.00mに閃亜鉛鉱、方鉛鉱及び黄鉄鉱を含む石英脈を把握した。MJMT-2及びMJMT-3の下部に分布するタスコ片岩類はホルンフェルス化しており、さらに下位の比較的浅所に花崗岩などの存在が推定される。付近の地質調査及びコア鑑定結果からはMJMT-2及びMJMT-3付近には背斜構造があり、層準的にはチサパ鉱床層準より下位になる。チサパ鉱床とサンタ・ロサ鉱床が同一層準であることが地質調査結果から明らかになり、この層準以外は塊状硫化物鉱床の胚胎のポテンシャルが低いと推定される。また、これらのボーリングにみられるタスコ片岩類の変成度は肉眼的にもチサパ鉱床付近より上で、明瞭な片岩となっている。

る。また、エル・リオ鉱床は産状及び室内試験結果から鉱脈型鉱床の可能性が高く、当地区は塊状硫化物鉱床胚胎のポテンシャルが低い地区と判断できる。

5-2 第2年次調査への提言

本年次の地質調査の結果、本地域には塊状硫化物鉱床と鉱脈型鉱床が分布する。

- ① 塊状硫化物鉱床の胚胎層準は二畳系～白亜系のタスコ片岩類の最上部付近に位置し、層準自体は広範囲に分布している。さらに、鉱床付近には火山性起源の碎屑岩を原岩とする変成岩類が分布しており、塊状硫化物鉱床と火山性起源の碎屑岩をもたらした火山活動が密接に関連していると推定される。したがって、これらの層準の分布するチサパ鉱床～サンタ・ロサ鉱床～テフピルコにかけてのNW-SE方向の地区に鉱床賦存のポテンシャルが高い地区として限定することができる。しかし、層準の追跡には詳細な地質調査が必要であり、併せて岩石地化学探査を行い、たとえば、日本の黒鉱鉱床探査で有効であるアルカリ元素の挙動を調べることも有用であろう。さらに、塊状硫化物の露頭もしくは潜頭性の鉱床の賦存が推定されれば、ボーリング調査で確認する必要がある。
 - ② 鉱脈型鉱床は大部分がAg-Pb-Znを含む石英脈であり、鉱脈の優勢な方向はNW-SEであることが地質調査結果から明らかとなった。当地域にはエル・マラカテ鉱床の10～20m×1 kmに及ぶ大規模の鉱脈も存在しているほか、一部の鉱脈は第四系などの上位の地層などで覆われている。また、サンタ・ロサリア鉱床ではAu 5.12g/t、Ag 7.824g/tと高品位の鉱石が坑内にあるほか、ベレン鉱床ではAu 9.88g/t、Ag 7.118g/tと高品位の露頭も発見できた。さらに調査を実施する場合は、これらの鉱脈型鉱床についても地化学探査を実施する必要がある。地化学探査の方法は鉱脈を切る方向に10m間隔で土壌及び岩石のサンプリングを実施し、As、Ag、Au、Hgなどの成分分析を行い、鉱化作用の範囲や連続性の把握が必要である。走向方向には連続性がいいので、100m間隔ぐらいが有効と推定される。同時に、地表に分布する鉱脈中の石英などの流体包有物測定を行うことにより、現在みられる鉱脈が鉱化作用のどのような位置にあたるのかを検討し、下部延長部の探鉱の有効性などを把握することが有用と考えられる。また、当地域に分布する既知鉱床の下部延長方向への探査はほとんどなされていない。よって、ボーリング調査により鉱化帯地下深部までの連続性を把握することが望ましい。
- なお、鉱床の経済性や規模を考慮すると、塊状硫化物鉱床の探査を優先すべきであろう。

第II部 各論

第 II 部 各 論

第 1 章 衛星画像解析

1-1 解析方法

衛星画像解析に使用したランドサットTMデータは、以下のとおりである。

パス	ロー	撮影年月日
027	047	14 march, 1986

調査地域は、上記データの区画の内北西部にあたる。解析にあたって作成した画像は以下のとおりである。

画像処理	縮尺
TMフォールスカラー画像 (BGR 234) フルシーン	1/250,000
TMフォールスカラー画像 (BGR 234) サブシーン	1/100,000
TM主成分分析画像 (BGR PC1×PC2、PC1×PC2、PC1×PC3)	1/100,000

図 II-1-1 に作成した画像の範囲図を示す。図 II-1-2 に TM フォールスカラー画像のフルシーンを、図 II-1-3 に TM フォールスカラー画像のサブシーンを、図 II-1-4 に TM 主成分分析画像をそれぞれ示す。画像解析は、1:100,000 のサブシーン画像及び主成分分析画像を用いて行った。

解析にあたっては、1:50,000 地形図の地形・水系パターンや航空写真、既存地質・地質構造を参考にして、画像上の水系・起伏の変化や色調の変化を読み取り、現地調査での比較対比を行うための判読図を作成した。

解析の手順概要は以下のとおりである。

- ・リニアメント、褶曲構造の抽出
- ・各種解析画像の色調区分
- ・既存地質図との対比
- ・リニアメント分布図・画像判読区分図の作成
- ・現地検証調査

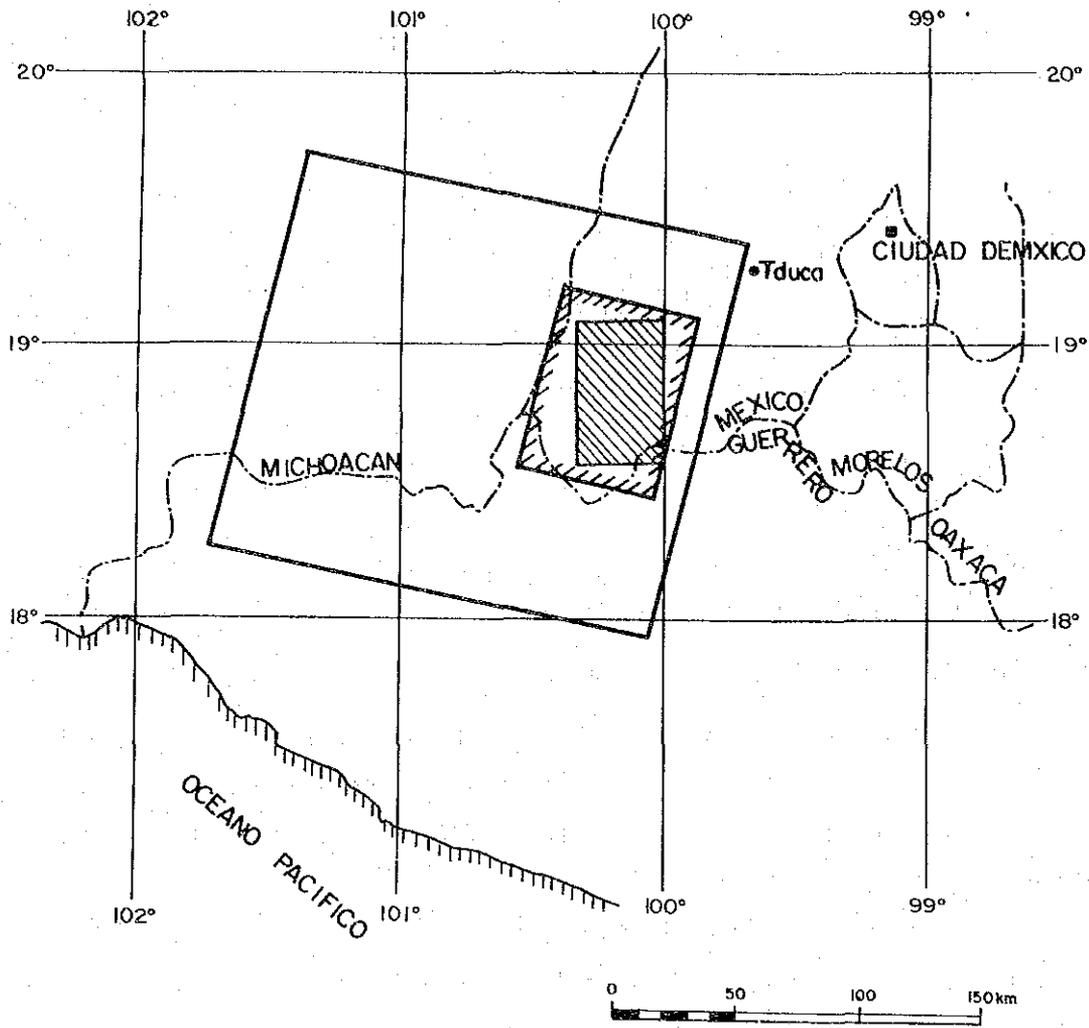
1-2 解析結果

1-2-1 水系及び地形

図 II-1-5 に 1:50,000 地形図から読み取った水系パターン図を、図 II-1-6 に接峰面図をそれぞれ示す。接峰面は 500m 間の谷埋めとした。

調査地域はほぼ東西に延びる 2 つの大きな分水嶺を境として、北部、中央部、及び南部の 3 区画に大別できる。

主な河川として地域北部では、東から西に流下するテマスカルテペック川、その支流の



- TMフォールオフカラー画像（フルシーン）の範囲
- ▨ TMフォールオフカラー画像（サブシーン）の範囲
- ▩ 調査地域

図II-1-1 ランドサットTMの画像位置及び解析範囲図

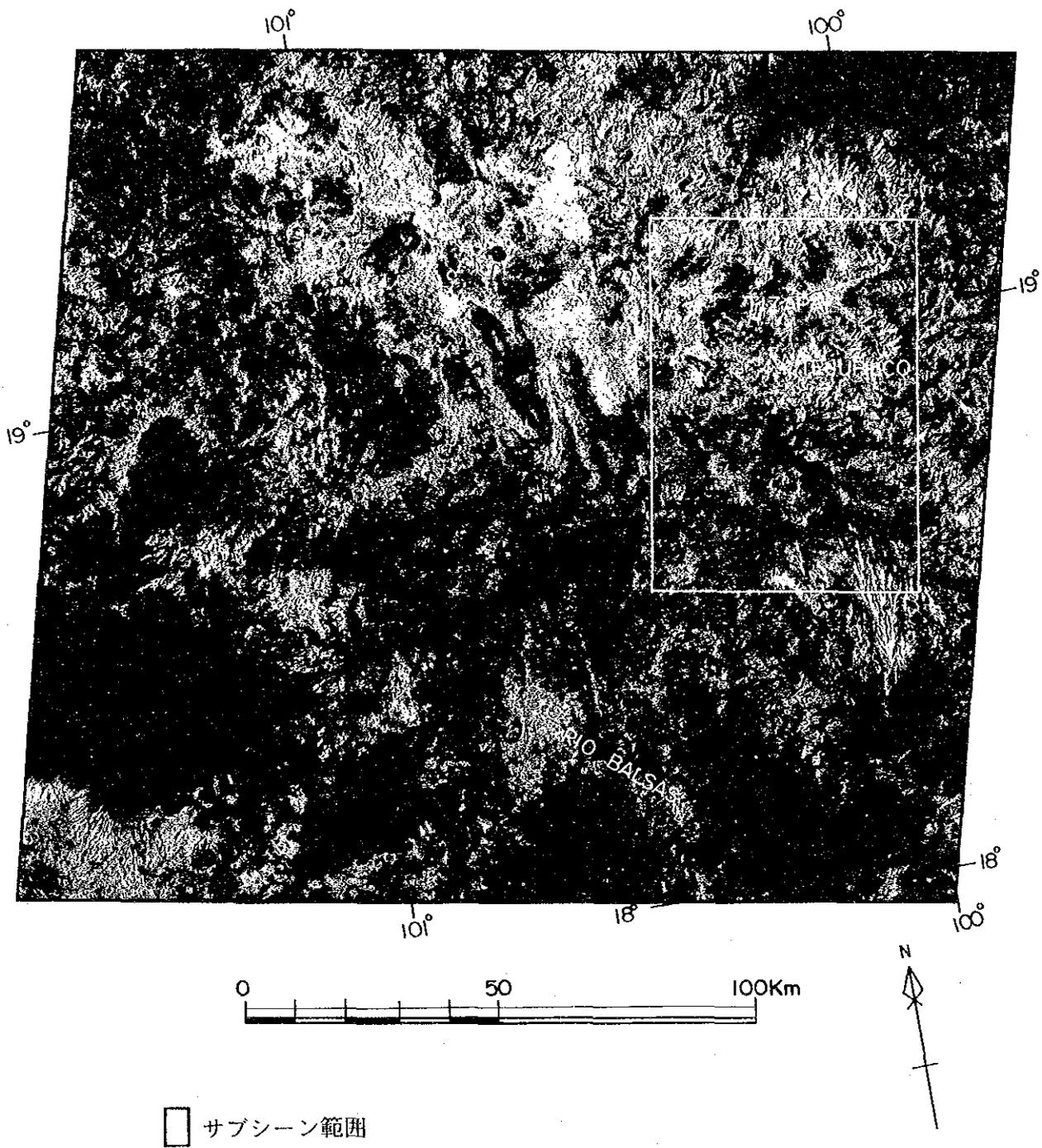
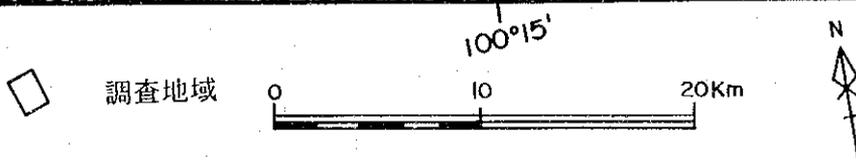
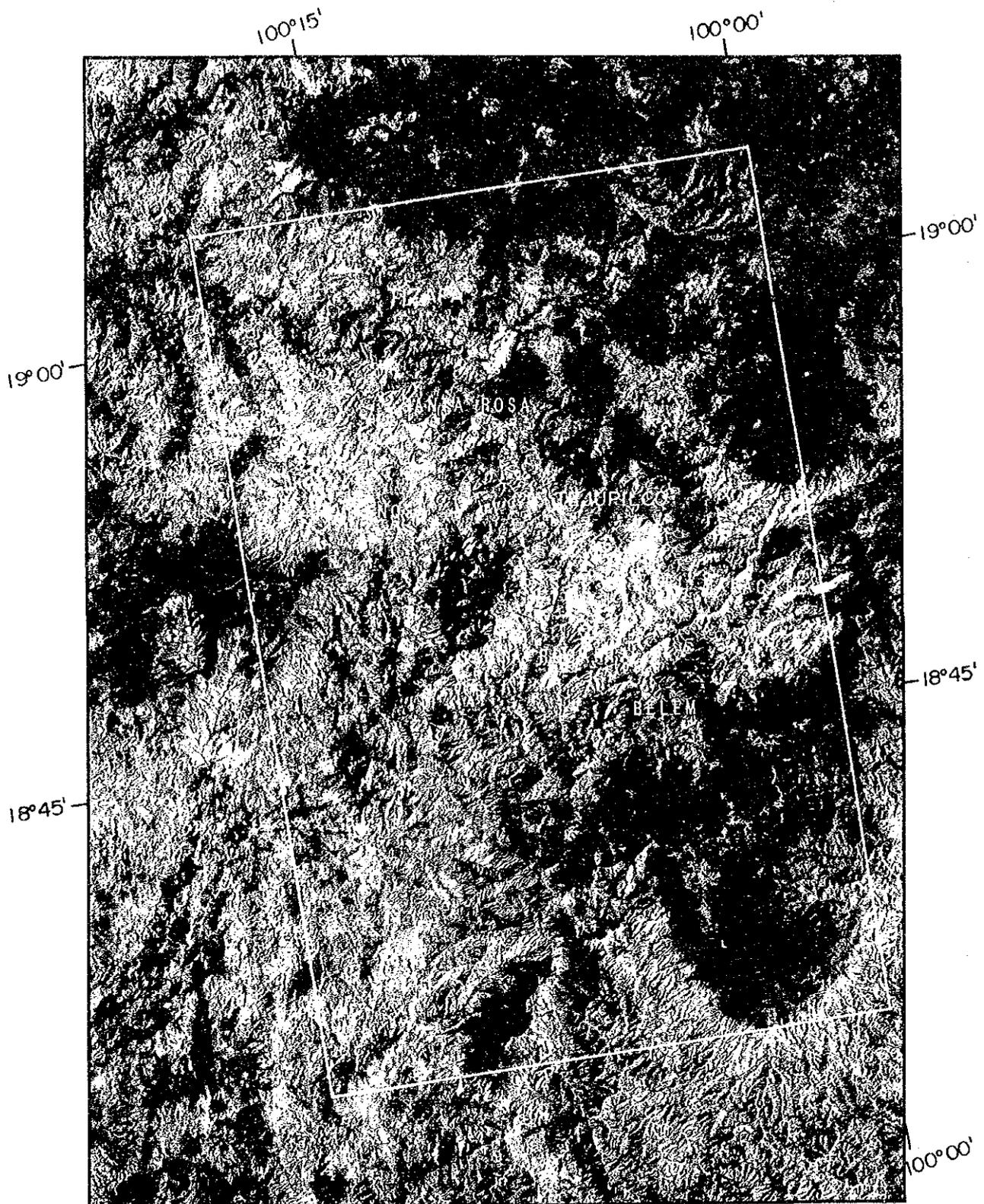


図 II-1-2 ランドサットTMフォールスカラー画像 (フルシーン)



図II-1-3 ランドサットTMフォールスカラー画像(サブシーン)

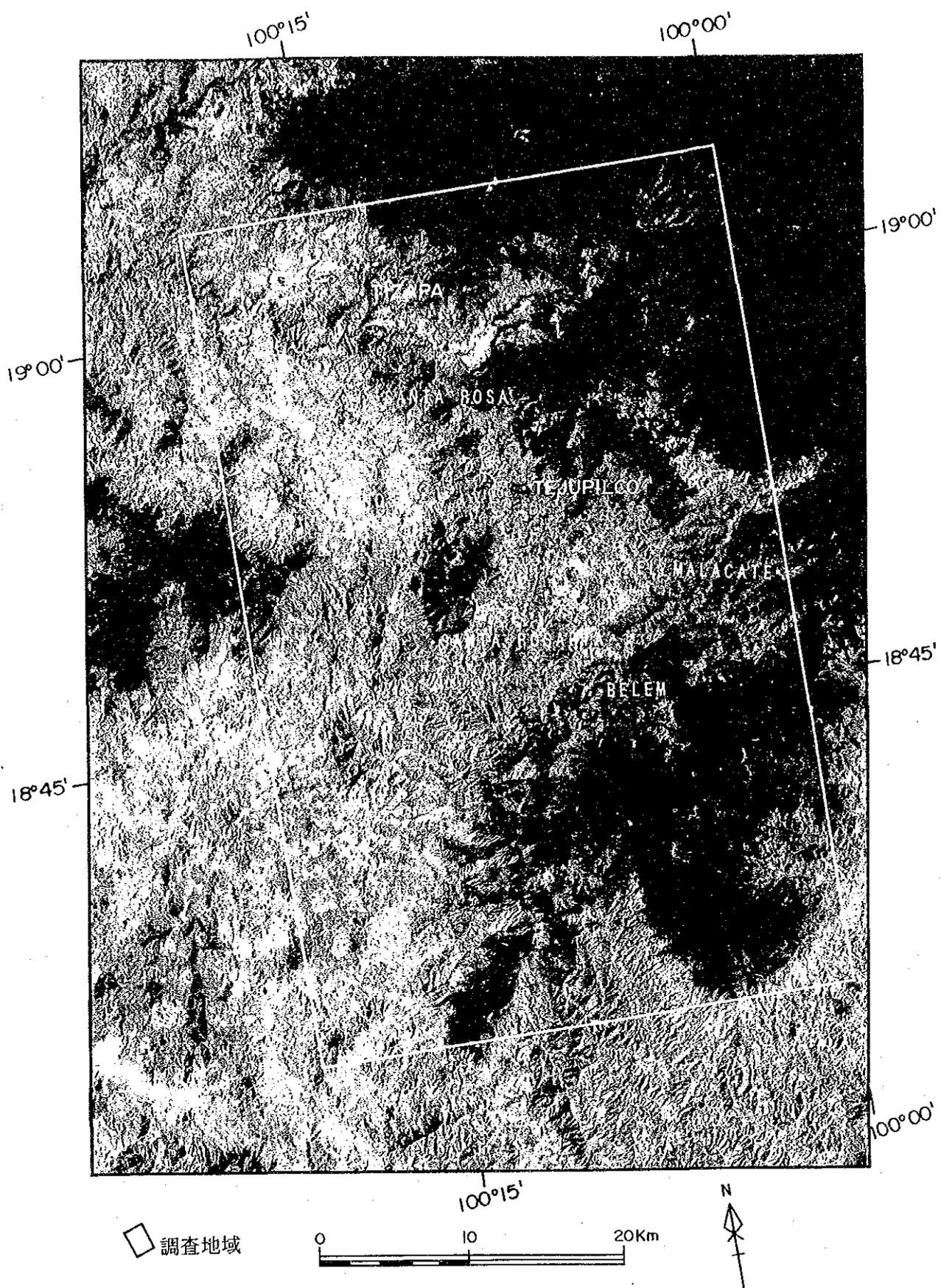


図 II-1-4 ランドサットTM主成分分析画像 (サブシーン)

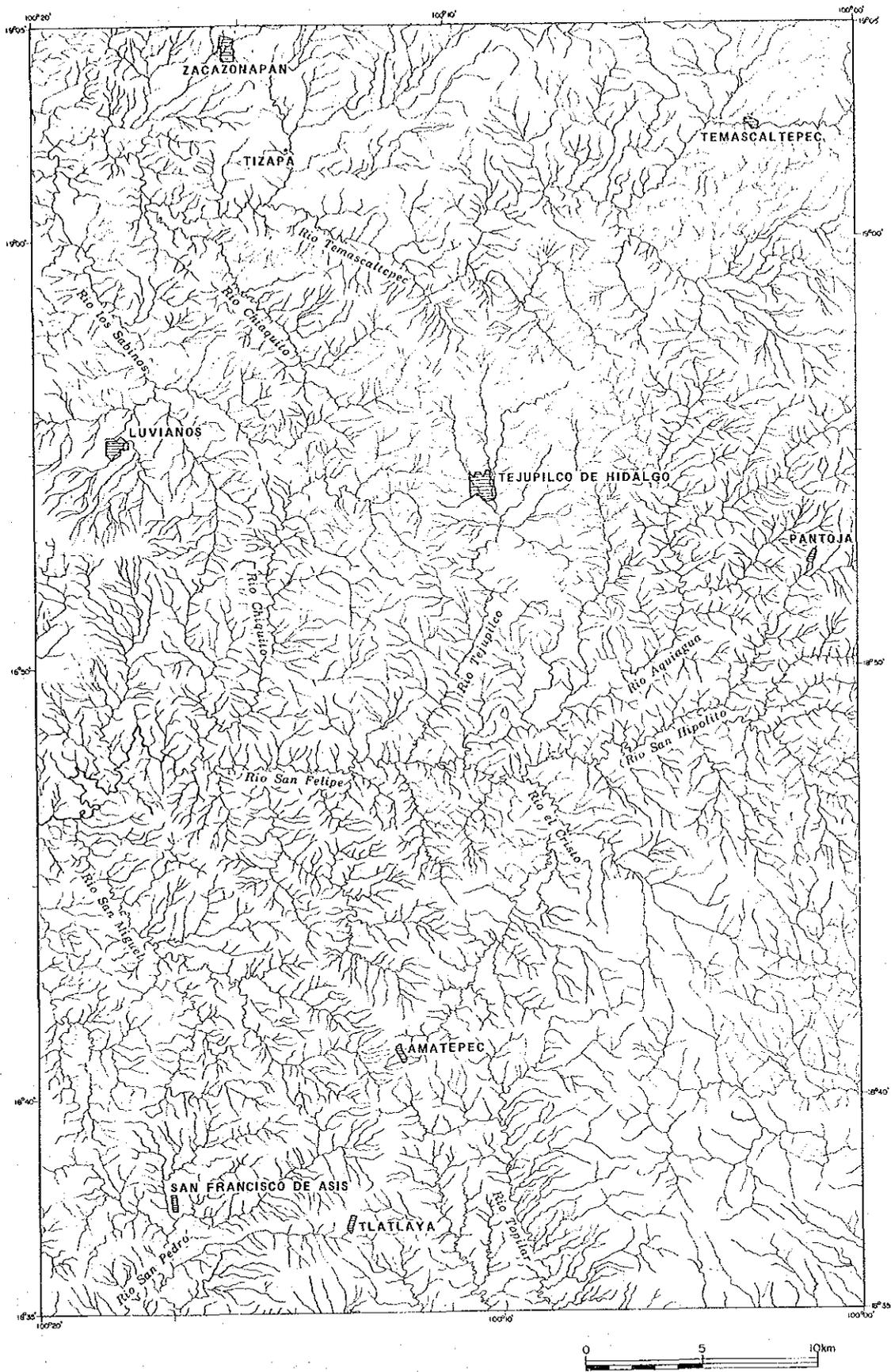
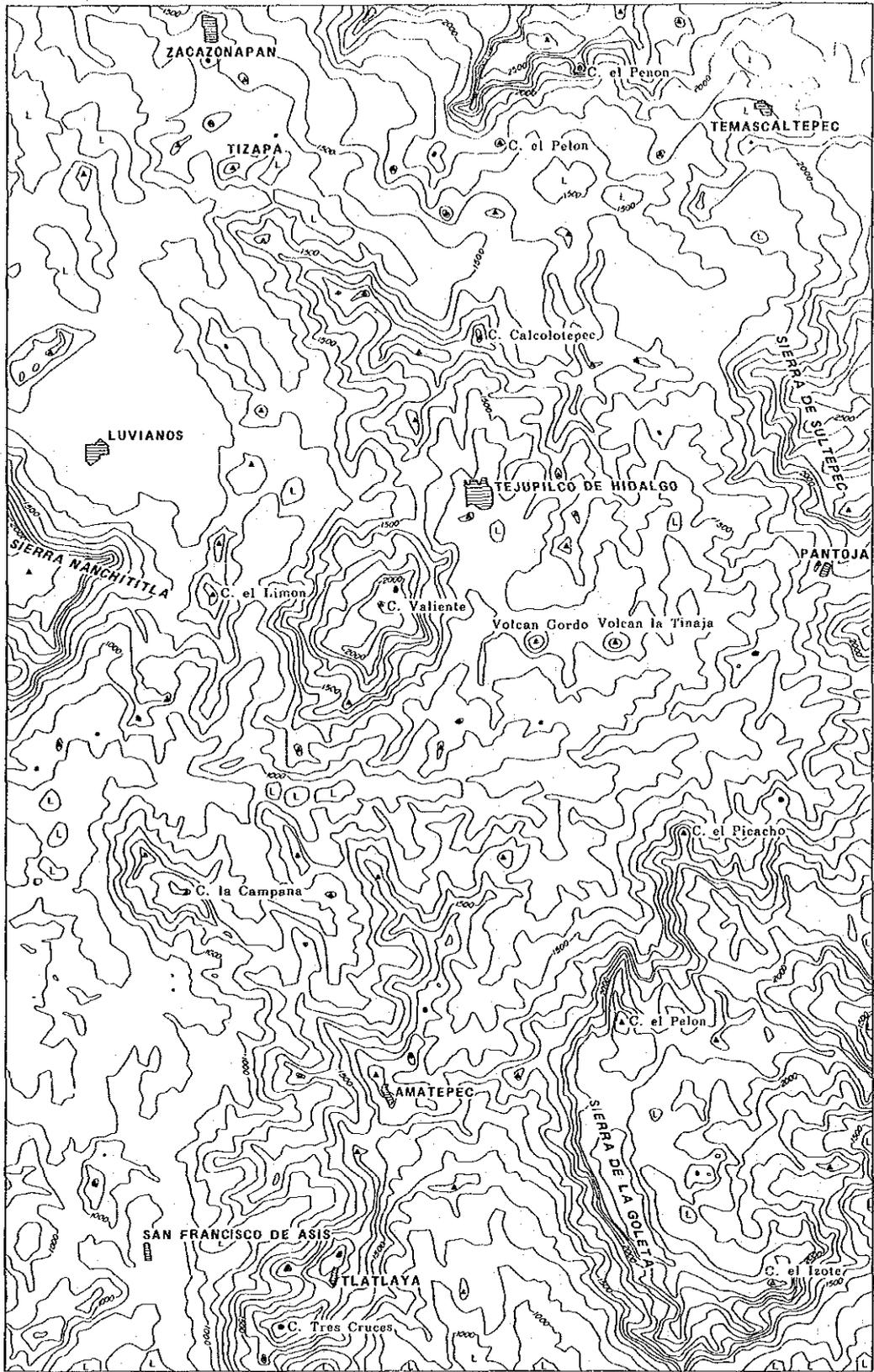


図 II - 1 - 5 地形図上の水系パターン図



▲ : CELLO (山頂)
 L : CUENCA (盆地構造)

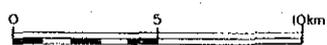


図 II - 1 - 6 地形図による接峰面図

チキト川 (Rio Chiquito)、ロス・サビネス川 (Rio Los Sabines) がある。地域中央部では、東から西に流下するサン・フェリペ川その支流のチキト川 (Rio Chiquito)、アキアグア川 (Rio Aquiaagua)、テフピルコ川、サン・ヒポリト川 (Rio San Hipolito)、エル・クリスト川 (Rio El Cristo)、サン・ミゲル川 (Rio San Miguel) がある。地域南部では、南に流下するサン・ペドロ川 (Rio San Pedro)、トピラル川 (Rio Topilar) ある。

河川は、S字型の蛇行した河川が多いほか、シエラ・デ・ラ・ゴレタ山脈 (Sierra de la Goleta)、シエラ・デ・スルテペック山脈 (Sierra de Sultepec) やシエラ・ナンチティトラ山脈 (Sierra Nanchititla) の裾野では亜平行状の直線的な2次～3次の沢が多い。

調査地域は、標高約2,500m～700mにあり、大きくは北東側が高く、南西側が低い地形である。

接峰面では、前述の山脈頂上一帯が比較的平坦な台地状地形として復元される。テフピルコ、ルビアノス及びサン・フランシスコ・デ・アシス (San Fransisco de Asis) 周辺では比較的平坦な盆状地形を呈し、それらを分断する形でNW-SEやE-W走向の山地が発達している。

ランドサットTM画像では、調査地域は大部分壮年期の開析が進んだ複雑な山脈地形であるが、第四紀の火山噴石丘及びそれらの火口や溶岩流の明瞭な特徴を残す火山地形 (北部～中央部) や開析が進んでいるものの第三紀火砕流台地状地形を呈する地域 (北部、西部、及び南東部) がある。またテフピルコの周辺及びルビアノスの周辺では平坦な沖積層の分布が認められる。

火山地形は、溶岩流地形と玄武岩質スコリアから構成されていると推定される単成火山噴石丘が判読できる。溶岩流地形は、溶岩堤防や溶岩の流出方向が明瞭に識別でき、いくつかのユニットに区別可能である。地域内での単成火山噴石丘は11個識別でき、山体の直径は0.5km～1kmである。

火砕流台地状地形では、火砕流堆積物中の節理を反映していると思われる直線的な深い溪谷が発達し、その周辺を切り立っ崖に取り囲まれている。

古生代～中生代の地層の分布地域は、壮年期の開析が進んだ複雑な山脈地形であるが、山々の連なりは大きくわけて、北西部から中央部にかけてNW-SE方向に配列し、中央部の火砕流台地状地形地を頂部として屈曲し南方ではN-S方向の配列に変わる。

1-2-2 TMフォールスカラー画像

TMフォールスカラー画像の色調は、赤色系、青白色系、茶褐色系の各色調の区画に大別できる。赤色にバンド4を当てはめており、赤色が強い地域は、一般に植生密度の高い地域に対応するものと考えられている。本調査域の水系の粗密やパターンの違いは、既存地質図中の地層分布に調和した変化が認められる。色調の分布は、不連続・モザイク様となる場合が多く、必ずしも岩石の種類に対応した結果とは言えず、人為的な土地の開発や

地表に分布する植物の影響が少なくないと推定できる。

従って、水系パターンの変化を大きな地質単元の境界とし、その中での色調変化は、地質情報と植生情報等の合成であると考え解析を行った。

1. リニアメント

図Ⅱ-1-7にリニアメント判読図を、図Ⅱ-1-8にリニアメントのローズダイヤグラムを、図Ⅱ-1-9にリニアメント長の頻度分布図をそれぞれに示す。判読リニアメントは379条、リニアメント密度は0.8km/km²である。

調査地域全体で見た場合のもっとも卓越するリニアメント方向はN-S系であり、次いでNNW-SSE系、NNE-SSW~NE-SW系である。タスコ片岩類 (Esquisto Taxco) の褶曲軸方向はNNE-SSW系であり、アルセリア層 (Formacion Arceria) 堆積以降からバルサス層 (Formacion Balsas) 堆積以前にかけて起こった変形作用の褶曲軸方向はN-S系であることから (Cseren, 1982)、地域中央部から南西部にかけて発達するこれらのリニアメントの大部分は、地層の褶曲構造に伴う地質構造を反映していると考えられることができる。

地域中央部から南東部にかけては、NW-SE系のリニアメントが卓越するが、鉱脈型鉱床の走向方向に一致する場合が多い。

そのほかにルビアノス、チサパのまわり等計5箇所でも大小の環状構造が判読できる。

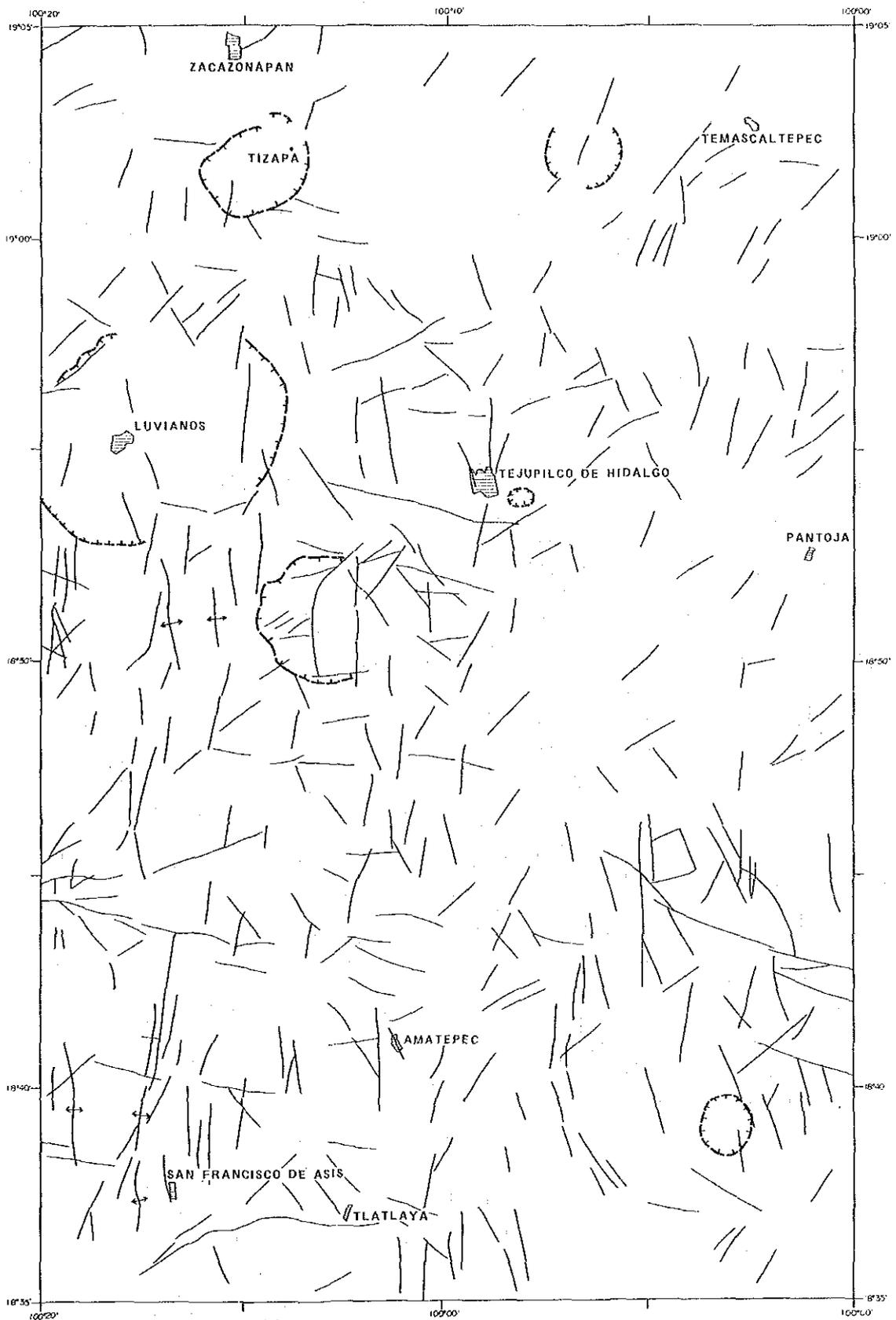
2. 地質区分

TMフォルスカラーのサブシーン画像 (1:100,000) を用いて地質構造区分を行った。図Ⅱ-1-10に判読図を、表Ⅱ-1-1に各判読単元の特徴を示す。

既存地質図との対比から、地層単元を大まかに変成岩類の分布域、中生界の分布域、新生界第三系の分布域、及び新生界第四系の分布域の4つに大区分した。

当該地域の中央には、北部から中央部にかけてNW-SE方向、中央部から南部にかけてはN-S方向に連なる“逆L字型”の山脈がある。この山脈を境として東側の水系パターンは細かい樹枝状を示すのに対して、西側では亜樹枝状~垂平行状を示す。既存地質図との対比から、この境界は基盤岩とされる変成岩類と中生代の海成堆積岩類の境界部にほぼ一致する。変成岩類は、褶曲作用を被り、水系は細かく蛇行し、比較的密な水系密度である。泥質片岩類、緑色片岩類、絹雲母片岩等より構成されるが画像上での区分は困難であった。

中生界の分布は、変成岩を取り囲むように地域西部及び北東部に分布する。地形・水系パターンの違いからM1~M25の25単元に区分した。下位では石灰質な粘板岩や石灰岩を主体としていることから、変成岩類との境界部では、比較的粗な水系密度である。これらの単元は、分布形態から全てが地質・岩相を反映するものとは考え難い。西部の単元境界については、玄武岩質溶岩と粘板岩の境界に相当すると考えられるものもある。また既存地質図では岩脈とされているものも含んでいる。

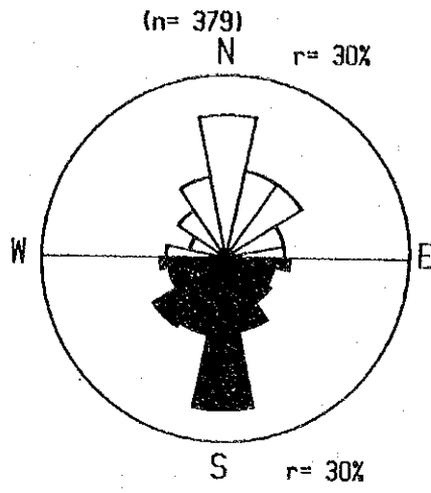


凡 例

- リニアメント
- 環状構造
- △ 背斜構造

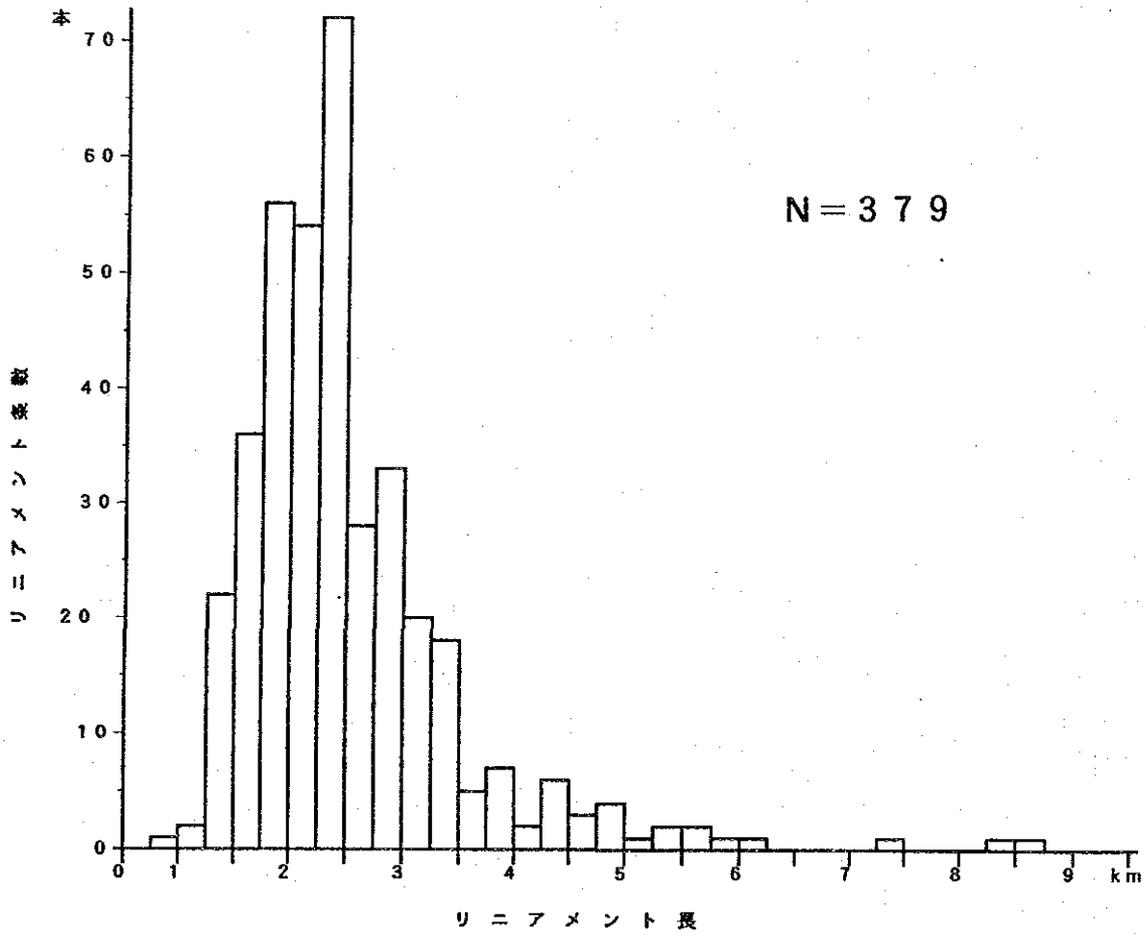


図 II-1-7 リニアメント分布図 (地質構造解析図)

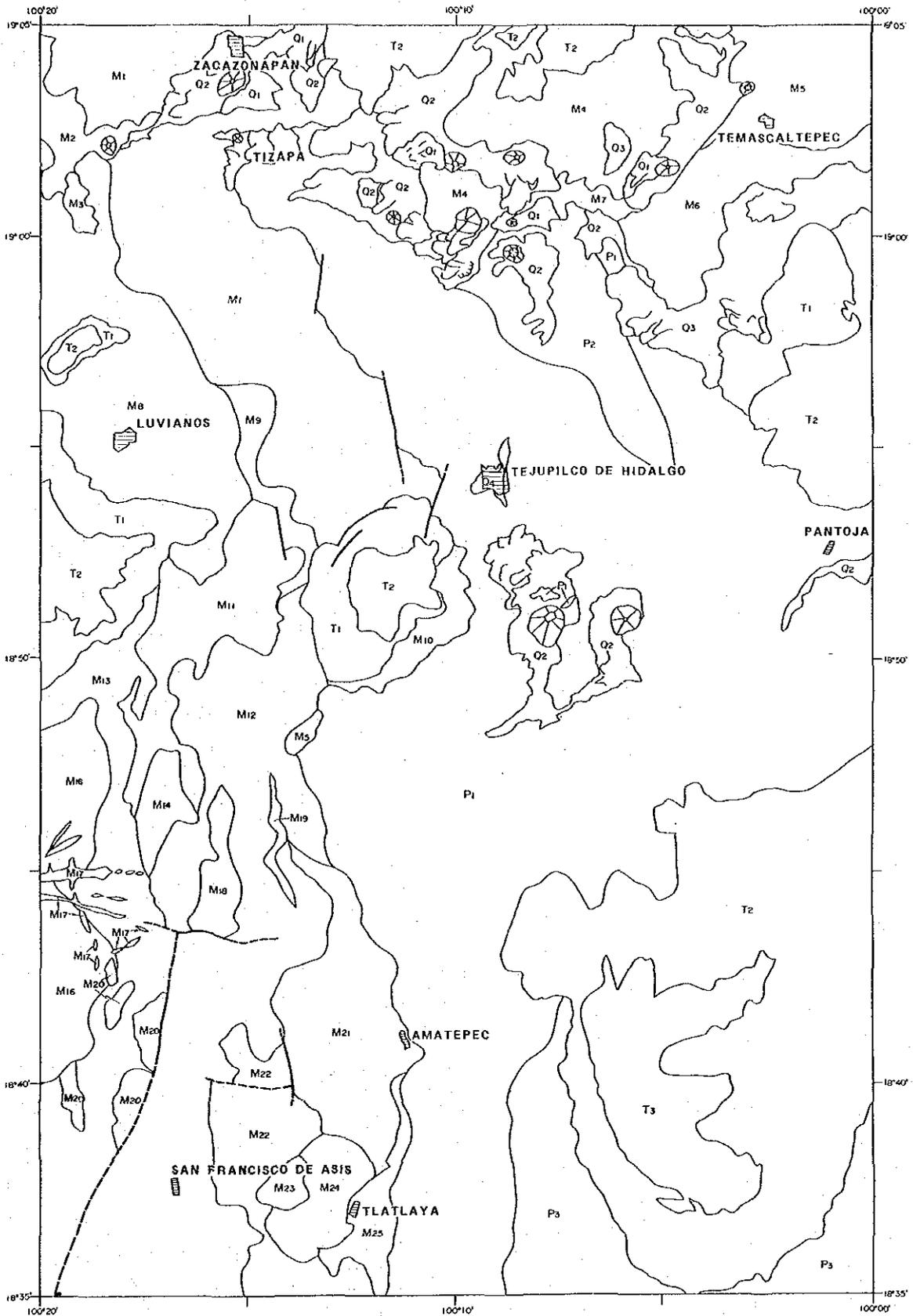


▽ : リニアメント数の相対頻度
 ▲ : リニアメント長の相対頻度
 r : 半径の相対頻度 (%)

図II-1-8 リニアメントのローズダイアグラム



図II-1-9 リニアメント長の頻度分布図



- Q1 ~ Q4 : 第四系相当層の単元
- T1 ~ T3 : 第三系相当層の単元
- M1 ~ M25 : 中生界相当層の単元
- P1 ~ P3 : 古生界相当層の単元

- 溶岩流地形
- 火山碎屑丘
- 断層状構造



図 11-1-10 TMフォールスカラー画像判読図

表II-1-1 TMフォールスカラー画像判読結果一覧表

判読 単元	分 布 域	既在地質図との対比	水系パターン	水系 密度	地 形	層理の 明瞭度	画像上の特徴	植 生
Q1	北西～北	Qb	—	粗	平坦	不明瞭	茶褐色	草地, トウモロコシ, 耕作地
Q2	北～中央	Qb, Qa1	—	粗	平坦	不明瞭	茶褐色	草地, トウモロコシ, 耕作地
Q3	北～北東	Qb	—	粗	緩傾斜	不明瞭	茶褐色	耕作地, トウモロコシ
Q4	北西, 中央	Qa1	—	粗	平坦	不明瞭	空色～茶色	市街地, 草地
T1	西, 中央, 北東, 南東	KTb, Tot	亜平行状	粗	平坦	不明瞭	赤色	樫の木, 雑木, トウモロコシ
T2	西, 中央, 北東	Tot	亜格子状～亜平行状	中	台地	不明瞭	赤色～茶褐色	樫の木, 松
T3	南東	Tot	亜非行状～亜樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	赤色～茶褐色	草地, トウモロコシ, 樺地, 果樹園, 家屋
M1	北西, 西	Kia, Ksxi, Ksa	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	茶色～青白色	草地, トウモロコシ, 耕作地
M2	北西	—	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	暗茶褐色	草地, トウモロコシ
M3	北西	—	—	粗	平坦	不明瞭	暗茶褐色	雑木, 樫の木, トウモロコシ, 草地
M4	北	—	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	赤色～茶色	樫の木, 樺地, トウモロコシ
M5	北東	—	樹枝状～半環状	密	急傾斜	不明瞭	赤色～茶色, 青白色	樫の木, 松, トウモロコシ, 樺地
M6	北東	Tot	亜樹枝状～亜平行状	密	急傾斜	不明瞭	赤色, 褐色	草地, 耕作地
M7	北	—	樹枝状	中	急傾斜	不明瞭	茶褐色	耕作地, 草地, トウモロコシ, 市街地
M8	西	Ksa, KTb	亜樹枝状～亜格子状	中	丘陵	不明瞭	褐茶色, 青白色, 赤色	雑木, 草地, トウモロコシ
M9	中央	Ksxs, Ksa	亜樹枝状～亜平行状	密	急傾斜	不明瞭	茶褐色, 青白色	雑木, 果樹園, 草, トウモロコシ
M10	西	KTb, 一部Pt	樹枝状	中	急傾斜	不明瞭	淡褐色, 青白色	草地, トウモロコシ, 雑木
M11	中央	Ksa	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	淡褐色, 青白色	草地, トウモロコシ, 耕作地
M12	西～南西	Ksxs, Ksa, 一部Pt	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	茶褐色	草地, トウモロコシ, 耕作地, 雑木
M13	西～南西	Ksa, 一部Ksxs	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	淡褐色, 青白色	雑木, トウモロコシ
M14	西	KTb, 一部Ksa	亜樹枝状～亜平行状	密	急傾斜	不明瞭	茶褐色	草地, 雑木, トウモロコシ
M15	中央	Ksxi	亜樹枝状	粗	平坦	不明瞭	淡茶褐色	草地, トウモロコシ, 雑木
M16	南西	Ksa	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	茶色, 淡褐色, 青白色	草地, トウモロコシ, 雑木
M17	南西	Dique	—	中	急傾斜	不明瞭	暗褐色	雑木
M18	南西	Ksxs, Ksa	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	褐色, 青白色	雑木, トウモロコシ
M19	中央	Kia, Ksa	樹枝状	中	丘陵	不明瞭	茶色, 青白色	草地
M20	南西	Tig, Ksxi, Ksa	樹枝状	密	急傾斜	不明瞭	赤褐色	雑木, トウモロコシ
M21	南西	Kia, Ksxi	樹枝状	中	急傾斜	不明瞭	赤褐色, 青白色	雑木, 樫の木, トウモロコシ
M22	南西	Ksxi, 一部 Tig, Ksxs	樹枝状	中	丘陵	不明瞭	赤褐色, 青白色	雑木, トウモロコシ, 草地
M23	南西	Ksxi	樹枝状	中	急傾斜	不明瞭	茶色	雑木, 草地
M24	南西	Tig, 一部Ksxi	亜樹枝状～亜平行状	中	急傾斜	不明瞭	赤色	草地, トウモロコシ
M25	南西	Kia, 一部Jka, Ksxi	亜樹枝状	粗	丘陵	不明瞭	赤色, 青白色	トウモロコシ, 草地, 家屋
P1	北～南	Pt, 一部Jka, Kia	樹枝状	密	丘陵	不明瞭	赤色, 青白色	草地, トウモロコシ, 雑木
P2	北	Pt	亜樹枝状～亜平行状	密	急傾斜	不明瞭	赤色	松, 樫の木
P3	南	Pt	亜平行状	密	急傾斜	不明瞭	褐色, 青白色	樫の木, トウモロコシ

*略号は図II-2-1参照。

第三系は、T1～T3の3つに区分した。下位層準を不整合に覆うとされている。その分布域の地形は、切り立った崖に囲まれ、上面は直線的な深い溪谷が発達するが、接峰面を描くと台地状地形を呈する。中央部～西部では、この急峻な崖部が上位の比較的淡明色部と中位の暗色部に分かれる場合がある。既存地質図との対比から、上位は流紋岩質岩、中位は玄武岩質岩の分布によく一致する。

第四系は、北部一帯及び中央部に分布する。火山砕屑丘を伴う玄武岩溶岩流及び沖積層より構成される。溶岩岩流の噴出順序からQ1～Q4の4つに区分した。Q1～Q3は玄武岩溶岩及び火山砕屑丘と考える。Q4は沖積層と考えられる平坦面である。

1-2-3 TM主成分分析画像

TMのサブシーン範囲についてバンド1～7のうち分解能の異なるバンド6を除いた6種類のバンドデータについて主成分分析を行った。

表II-1-2に主成分分析結果の固有値、寄与率及び固有ベクトルを示す。第1主成分の寄与率は93.8%で、地形の凹凸が各バンドが明度に強く影響を与えていることを示している。第1～4主成分の寄与率の合計は99.6%でデータの大部分の情報を集約している。

固有ベクトルで見た場合、第1主成分のスコアは各バンドについて正である。第2主成分では、短波長領域のバンド7の影響が大きい。第3主成分では、バンド3及び5の影響が大きい。第4主成分では、バンド2の影響が大きい。

図II-1-11に色調分布図を、表II-1-3に色調区分の一覧表を示す。第2主成分、第3主成分及び第4主成分の各スコアに第1主成分スコアをかけた値にそれぞれB（青色）、G（緑色）、R（赤色）を割り当てた。

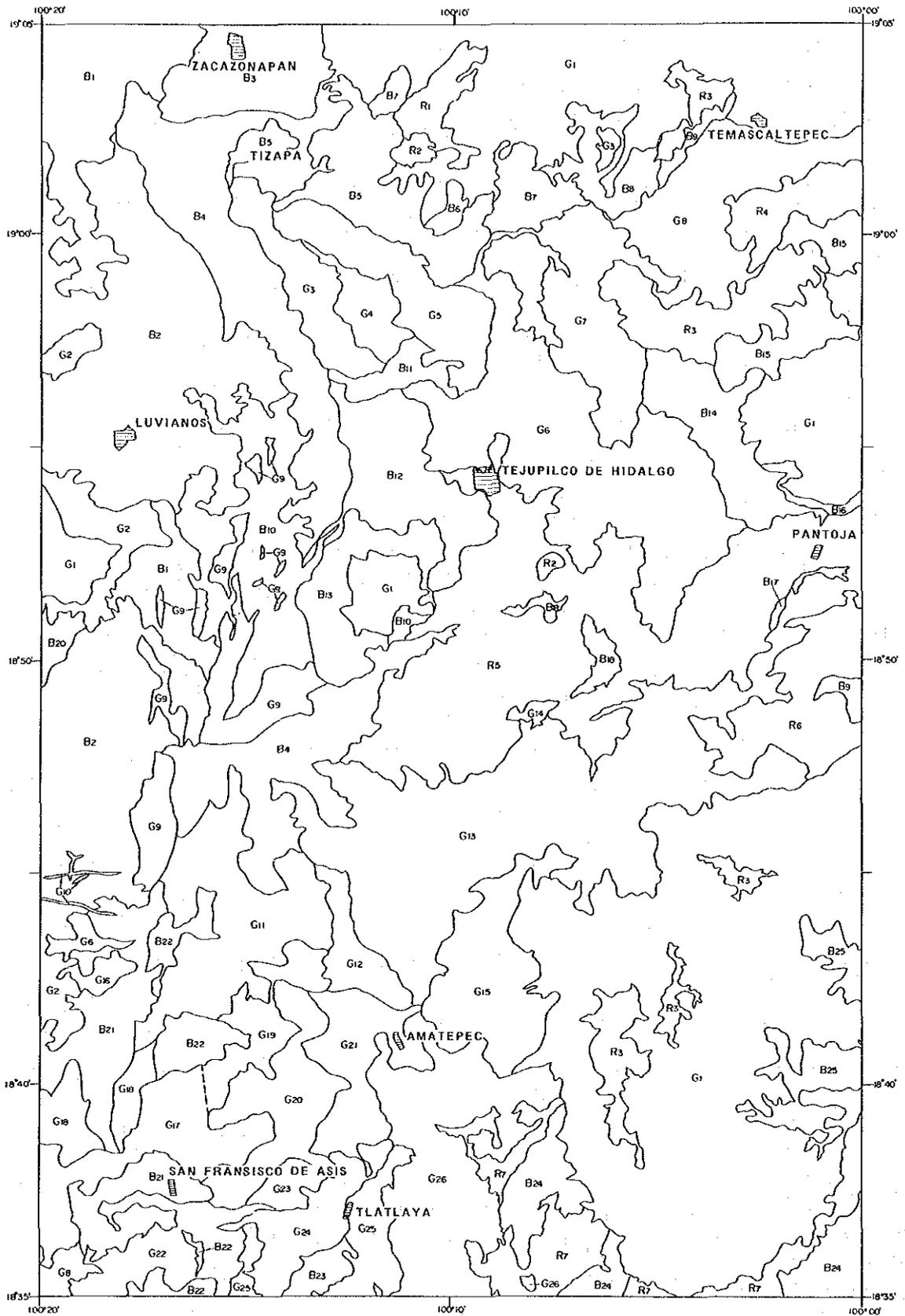
TMフォールスカラー画像では、大きな単位での区分が可能であったが、主成分分析画

表II-1-2 サブシーン図画内（バンド1～5、7）の主成分分析結果一覧表

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分	第6主成分
固有値	2745.54	83.50	71.75	12.84	8.33	1.84
寄与率	93.8%	2.9%	2.5%	0.4%	0.3%	0.1%

固有ベクトル

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
banda 1	0.260	0.177	0.343	0.231	0.754	0.402
banda 2	0.160	-0.025	0.031	-0.946	0.084	0.267
banda 3	0.562	0.339	0.560	0.038	-0.497	-0.080
banda 4	0.465	-0.068	-0.189	-0.108	0.382	-0.765
banda 5	0.579	-0.036	-0.660	0.178	-0.165	0.411
banda 7	0.196	-0.920	0.311	0.085	-0.062	0.081



B25~ B25 : 青色系の単元
 G26~ G26 : 緑色系の単元
 R7 ~ R7 : 赤色系の単元



図 II - 1 - 11 TM主成分分析画像の色調分布図

表 II - 1 - 3 T M主成分分析画像判色調読結果一覽表

判読 単元	分 布 域	既存地質圖との対比	水系パターン	水系 密度	地 形	画 像 上 の 色 調 特 徴	植 生
B1	北西	Ksa, Ktb	垂格子状~重平行状	粗	平坦	青白色、一部白色	トウモロコシ、草地、耕作地
B2	北西	Ksa, Ktb, Qal	重樹枝状	中	丘陵	青白色、白色、黄色、赤色	トウモロコシ、耕作地、雑木、草地
B3	北西	—	重樹枝状	粗	平坦	青色~青白色、黄緑色、黄色	草地、トウモロコシ、雑木
B4	北西~中央	Ksxi, Kxss, Ksa	樹枝状	密	急峻	青色、白色、黄色、緑色、赤色	草地、トウモロコシ、雑木
B5	北	Qb	重平行状	密	平坦	青色~青白色、黄色~紫色斑点	草地、トウモロコシ、耕作地
B6	北	—	—	粗	平坦	青色~青白色	草地
B7	北	—	重平行状	中	平坦	青色~青白色、赤色斑点	草地、トウモロコシ、裸地
B8	北	—	重平行状	中	丘陵	青色、青緑色	草地
B9	北東	—	—	粗	平坦	青色	草地
B10	西	Ksa, Ksxi	樹枝状	密	丘陵	青色~白色、黄緑色	トウモロコシ、草地、雑木
B11	中央	Pt, Jka, Kia	重樹枝状	中	急峻	青色、青緑色、黄色~赤色斑点	雑木、トウモロコシ、草地
B12	中央	Pt, Jka, Kia	重樹枝状	密	急峻	青色、緑色、黄色、モザイク	草地、トウモロコシ、雑木
B13	中央	Ktb, Tot	重樹枝状	密	急峻	青色、黄緑色	草地、トウモロコシ
B14	北東	Jka, Tot	樹枝状	密	急峻	青色、黄色、黄緑色モザイク	草地、トウモロコシ、雑木
B15	北東	Tot	重樹枝状	密	急峻	青色、赤色、緑色	耕作地、樫の木、松、トウモロコシ
B16	北東	Tot	—	中	丘陵	青色、黄緑色	草地、雑木
B17	東	Qb	—	粗	平坦	青色	草地
B18	中央	Tot, Qb	環状	粗	平坦	青色~白色、赤色斑点	トウモロコシ、草地
B19	東	Jka, Kia	垂格子状	中	急峻	青緑色	松、樫の木
B20	西	Ktb, Tot	重樹枝状	中	急峻	青色、一部緑色~黄色	草地、樫の木
B21	南西	Kxss, Ksa	樹枝状	中	丘陵	青色~白色、黄色、黄緑色	雑木、トウモロコシ、草地
B22	南西	Kxss, Ksa, Tig	—	中	丘陵	青白色、黄色、赤色斑点	草地、トウモロコシ、雑木
B23	南	Tig	重平行状	粗	急峻	青色、緑色、赤色斑点	樫の木、草地
B24	南東	Pt	重平行状	密	急峻	青白色、黄色、赤色斑点	草地、トウモロコシ、雑木
B25	南東	Tot	垂格子状~重平行状	密	急峻	青色~白色、緑色、赤色斑点	草地、トウモロコシ、雑木
G1	北、西、中央、南東	Tot	垂格子状~重平行状	粗	平坦	緑色~暗緑色、一部暗赤色	樫の木、松、一部トウモロコシ
G2	北西	Ktb	重樹枝状	密	急峻	緑色、黄色モザイク	雑木、トウモロコシ
G3	北西	Jka, Kia	重樹枝状	密	急峻	緑色、青色、赤色モザイク	雑木、トウモロコシ、草地
G4	北	Pt	重樹枝状	中	急峻	緑色、一部黄色、赤色	雑木、一部トウモロコシ、草地、裸地
G5	北	Pt	重樹枝状~重平行状	密	急峻	緑色、一部黄緑色	雑木、草地
G6	中央	Pt	樹枝状	密	丘陵	緑色、赤色、青色、黄色斑点	樫の木、トウモロコシ
G7	北	Pt, 一部Tot	重平行状	密	急峻	褐緑色、一部緑色	松、樫の木
G8	北東	Tot, Qal	樹枝状	中	急峻	暗緑色、一部赤色斑点	樫の木、松、裸地
G9	西	Kxss, Ksa, Ktb	重平行状~重樹枝状	中	急峻	青緑色、青色	トウモロコシ、雑木、草地
G10	西	Dique	—	—	急峻	緑色	雑木、一部トウモロコシ
G11	南西	Ksa, 一部Kxss	重平行状~重樹枝状	密	急峻	緑色、黄色	雑木、トウモロコシ、草地
G12	南西	Jka, Kia	重樹枝状~重平行状	密	急峻	緑色、尾根部黄色	雑木、トウモロコシ
G13	中央	Pt, 一部Jka, Kia	樹枝状	中	丘陵	緑色~黄色、尾根部赤色斑点	樫の木、トウモロコシ、草地
G14	中央	Pt, Qb	—	粗	丘陵	黄色	トウモロコシ
G15	南	Pt	樹枝状	中	急峻	緑色~青色、尾根部黄色~茶色	樫の木、松、トウモロコシ、草地
G16	南西	Ksa	樹枝状	中	丘陵	緑色、一部黄色~青色	雑木、トウモロコシ、草地
G17	南西	Ksa	重樹枝状	中	丘陵	黄色、黄緑色	雑木、トウモロコシ、草地
G18	南西	Kxss, Ksxi	樹枝状	中	丘陵	緑色、黄緑色、一部青色	雑木、トウモロコシ、草地
G19	南西	Kxss, 一部Ksxi	重樹枝状	密	丘陵	黄色	トウモロコシ、一部草地、雑木
G20	南西	Tig, Kia, Ksxi, Kxss	重樹枝状	密	急峻	黄緑色、黄色、青色	トウモロコシ、草地、雑木
G21	南西	Ksxi, Kis, 一部Pt	重樹枝状~重平行状	密	急峻	褐緑色、青色	樫の木、一部トウモロコシ
G22	南西	Kxss, Ksxi, Ksa	重樹枝状~重平行状	密	急峻	黄緑色~青色	草地、雑木
G23	南西	Tig, Ksxi	重平行状	中	丘陵	緑色~黄色、赤色斑点	雑木、トウモロコシ、草地
G24	南西	Tig, Ksxi	重樹枝状	中	急峻	黄色、赤色、沢筋黄緑色	トウモロコシ、草地、雑木
G25	南	Jka, Kia, Ksxi	重樹枝状	中	丘陵	黄色~黄緑色、赤色斑点	トウモロコシ、耕作地、雑木
G26	南	Pt, 一部Jka, Kia	樹枝状	密	急峻	黄緑色、黄色	草地、トウモロコシ、雑木
R1	北	—	重平行状	中	平坦	赤色、黄色、青色緑色モザイク	耕作地、雑木
R2	北	—	重樹枝状	中	平坦	赤色	トウモロコシ
R3	北、北東	Tot, Qal	重樹枝状	中	平坦	赤色、青色、紫色モザイク	耕作地、雑木、裸地
R4	北、北東	—	平行状	中	平坦	赤色、黄色~紫色斑点	耕作地、草地
R5	中央	Pt, Qb, Qal	樹枝状	中	平坦	赤色、白色、青色モザイク	草地、トウモロコシ、裸地、果樹園、家園
R6	東	Pt, Jka, Kia	重平行状~重樹枝状	密	急峻	赤色、沢筋緑色~黄色~青色	トウモロコシ、草地、裸地、雑木
R7	南東	Pt	重平行状	密	急峻	赤色、白色、黄色モザイク	草地、トウモロコシ、雑木

*略号は図II-2-1参照。

像では色調変化が岩相の違いを反映することが期待された。作成された画像は、緑色系、青色系、黄色系、赤色系、白色系等の多彩な色調を示す。同系統の色調はモザイク状、斑点状の分布を示す。当該地域は、温帯～亜熱帯地方の気候に当たり、人家の発達が予想される。区画された単元は、青色系がB1～B25、緑色系がG1～G26、赤色系がR1～R7の計58区画である。これらの多彩な色調を呈する区画は、既存地質図の地層分布とは調和せず、植生、地形、岩相、土壌の湿潤状態等の情報を含んだものと考えられる。

1-2-4 現地調査結果との対比

1. TMフォルスカラー画像

TMフォルスカラー画像の判読結果及び主成分分析画像の色調区分結果について、現地調査を行い、地質・構造との対比を行った。

TMフォルスカラー画像では、南北に延びた基盤岩の変成岩類と中生代の海成堆積物の境界が中央部から南部にかけてはほぼ一致した。しかし、北部、南端部及び東部の境界については一部一致しなかった。

基盤岩類分布域では、平行状～亜平行状の水系パターンを示す単元P1及びP2は、現地調査結果でも泥質片岩である。P1については、泥質片岩を主体とし、緑色片岩、絹雲母片岩のほか流紋岩貫入岩も多数確認されたが、それらの分布幅が狭いためか画像上では識別できていない。

中生代堆積岩分布域では、西部の平坦地に発達する南北方向に伸長した山岳地は、玄武岩溶岩の分布域に対応する場合が多いが、山麓部が必ずしも粘板岩類との境界とはなっていない。

第三紀火山岩類の分布域のまわりは、急峻な崖を形成する場合が多い。全般に第三紀火山岩類と下位層準の境界は、下位層準の尾根部とほぼ同じ標高にあたり、一部を除いて境界はほぼ一致した。画像からT1～T3の3単元に区分したうち、T1とT2はそれらの色調の違いからそれぞれ流紋岩質岩の分布域と玄武質安山岩の分布域に対応するものと考えられたが、必ずしも一致はしていない。また、地域西部については、第三紀玄武岩質安山岩と中生代の玄武岩溶岩が接するため画像で判読した境界が一致しなかった。T3については、樅や松の林内に開かれた耕作地であり、地質とは無関係であった。

第四紀の玄武岩溶岩及び火山碎屑丘の分布は、画像上で明瞭に識別可能である。溶岩台地は、大部分牧草地ないしは畑地となっているほか、裸地の部分でも赤褐色のラテライト化が顕著である。

2. 主成分分析画像

主成分分析画像では、モザイク状ないしは斑点状を呈する多彩な色調を示す。現地調査の結果、これらの色調変化は大部分が地表の植生分布に起因するものと判明した。各色調

の植生区分は次のとおりである。

青色系：草地、一部トウモロコシ畑

白色系：草地、トウモロコシ畑

黄色系：トウモロコシ畑、一部草地、灌木

緑色系：樹木（檜、松、その他）

黒色系：松、檜の密生地

赤色系：荒れ地（土壌ないしは岩盤の露出）、道路、家屋

多彩な色調のモザイク：区画された耕作地の多い場所（集落、果樹園、樹木を含む）

青色系～白色系は、西方の比較的標高の低い地域及び北部の玄武岩台地に広く分布する。これらの地域では、牧草地やトウモロコシ畑が広く分布し、道路沿いにいくつかの町があるほか家屋が散点している。画像上で赤色の斑点となっている場所は大部分家屋ないし裸地である。

黄色系は、南西地域及び北部の玄武岩台に広く分布する。トウモロコシ畑が多いが、川沿いには樹木が残っており、画像上では川沿いが緑色から黄緑色を呈している。

緑色系は、北部及び南部に広く分布している。調査地域は、標高約1,600mを境として亜熱帯気候と温帯気候に属する。亜熱帯地域ではテペワヘ（tepehuaje）、エスピノ（espino）など多様な樹木が繁茂しているのに対して、温帯地域では標高が高くなるにしたがって檜の木を主とした林から松杉類を主とした林へと変化している。これらの林の中でも所々トウモロコシ畑や牧草地が広がっており、黄色系の部分に対応している。

黒色系は、緑色系の色調部の中心部に分布する 경우가多く、檜の木や松杉類の密生地に対応している。

赤色系は、北東部から南東部にかけて比較的まとまって分布しているほか、各地に斑点状に分布する。また、比較的幅の広い道路も赤色系を呈する。テフピルコ東方から地域南東部にかけては（R5～R7）では、赤色系を主体とした多彩な色調のモザイク模様を呈する。現地調査時（9月～12月）にかけてはトウモロコシ畑と牧草地が広がるが、画像撮影時である3月中旬は、乾燥が進み、家畜の放牧によって一帯は所々赤土が露出するとされている。また、北東部（R1～R4）地域では、玄武岩溶岩が広く分布するが、ラテライト化した赤褐色土壌が露出している箇所が多い。

以上のことから主成分分析画像については、植生の影響が強くあらわれ、画像の色調変化が岩石の種類と対応していない場合が多いと判断せざるえない。

1-3 考察

ランドサットTMデータのフォールスカラー画像及び主成分分析画像を用いて画像判読図を作成し、地質・構造判読図を作成し、現地調査を行った。

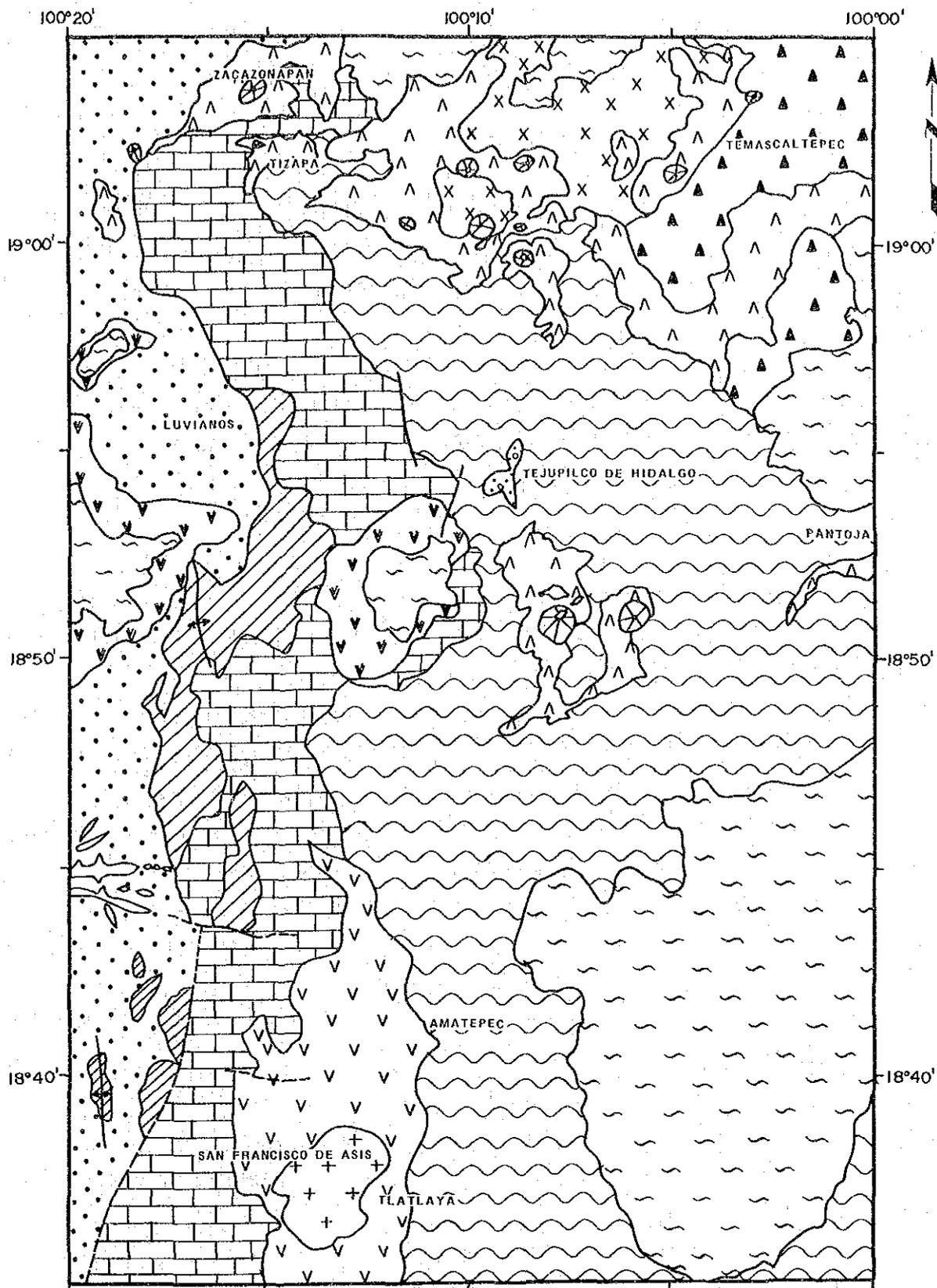
図II-1-12に現地調査結果を基にした解析結果図を示す。

本調査地域は変成岩類から第四紀玄武岩類までの時代幅の広い地層が分布している。画像データ解析では、広範囲な地質・構造解析を行い、併せて塊状硫化物鉱床の胚胎層準、鉱脈型鉱床の分布を把握する目的で行われた。

ランドサットTM画像は、広範囲に赤色～褐色系の色調が分布し、植生が多いことが推測できる。変成岩類と中生界堆積岩類の境界、それらを不整合に覆う第三系火山岩類の分布、第四系玄武岩類の分布といった大まかな地質構造が判読できるものの、それらを細分する岩相の違いの判読は困難であった。判読されたリニアメントはN-S系、NNW-SSE系、NNE-SSW系が卓越するが、これらの方向は、変成作用による褶曲軸方向を反映したものであった。鉱脈型鉱床の主な鉱脈走向はNW-SE系である。ローズダイアグラムでは卓越方向としてはでてこないが、個別にみた場合、テフピルコ北西から南東にかけての付近で同系方向リニアメントが卓越しており、傾向としては一致している。

地域中央部で南北方向に広く分布する変成岩類中には流紋岩質貫入岩が多数胚胎し、鉱脈型鉱床の有力な関係火成岩とされている。これらの貫入岩ないしは鉱脈分布について画像上で判読することは困難であった。

ランドサットTMデータの主成分分析画像は多彩な色調を呈し、露岩地域については岩石の種類に対応した色調分布を示すことが経験的に知られている。本調査地域については、気候も比較的温暖で、植物の繁茂しているほか、耕作地や牧草場が不規則な形で広く分布している。主成分分析の結果と現地調査結果の対比から、第1主成分は主に地形の凹凸、第2主成分（画像ではB：青色）及び第3主成分（画像ではG：緑色）は植生の違いを反映していることが判明した。第4主成分（画像ではR：赤色）の高スコア地域は土壌・岩石の露岩地帯、道路、家屋等の非植生分布地域に対応していることが判明した。主成分分析を行った範囲内の画像データには地質情報以外のものが多すぎ、各バンドデータが岩石の種類、化学組成・鉱物組み合わせといった地質情報による変化幅が狭く、植生変化の違いに覆い隠されてしまったものと考えられる。



100°20' 100°10' 100°00'

19°00' 18°50' 18°40'

0 5 10 km

- | | | | | | |
|-----|--|-----------------|------|--|------------|
| 第四系 | | 冲積層卓越区域 | 例 | | 変成岩類卓越区域 |
| | | 玄武岩溶岩・スコリア丘卓越区域 | 古生代 | | 花崗岩類卓越区域 |
| 第三系 | | 玄武岩質安山岩卓越区域 | 貫入岩類 | | 花崗閃緑岩類卓越区域 |
| | | 流紋岩質火砕岩類卓越区域 | | | 石英安山岩岩脈 |
| | | 玄武岩卓越区域 | | | 背斜軸 |
| 中生代 | | 粘板岩～頁岩卓越区域 | | | 断層 |
| | | 玄武岩卓越区域 | | | 玄武岩質砕屑丘 |
| | | 石灰質粘板岩卓越区域 | | | |
| | | 石灰岩卓越区域 | | | |

図 11-1-12 解析結果図

第2章 既存データ解析

2-1 解析方法

メキシコ合衆国鉱物資源局（CRMと略称）内部資料、政府刊行物、メキシコ国立自治大学（Univarsidad Nacional Autonoma de Mexico、UNAMと略称）関係、メキシコ合衆国内の学術雑誌等から当該地域に関連する既存資料について目録を作成し、CRMトルーカ事務所を拠点として収集業務を行った。

検索した既存資料リストは巻末に示す。一部資料についてはその所在が不明であり、未収集のものがある。メキシコ合衆国内で収集した既存資料は、地質図幅、CRMによる鉱床調査プロジェクトの報告書、UNAM関係論文等である。そのほか日本国内にメキシコ合衆国の鉱山に関するいくつかの邦文論評がある。

2-2 解析結果

2-2-1 地質データの概要

本調査域をすべて包括する広域地質図幅は、1,000,000分の1地質図幅（SPP, 1981）及び50,000分の1岩相分布図（CETENAL, 1975a, b, c）がある。

北緯19°以南については、250,000分の1地質図幅（SPP, 1983）及び100,000分の1地質図幅（Cserna, 1985）のほか、鉱物資源局による縮尺50,000分の1～1,000分の1の鉱床周辺地質図幅（CRM, 1978a, b, 1990）がある。北緯19°以北については、チサパ（CRM, 1982）、エル・リオ（El Rio; CRM, 1979, 1983）及びテマスカルテペック（Bernal-Hernandes et al, 1981）といった鉱山あるいは鉱徴地周辺についての地質図がある。

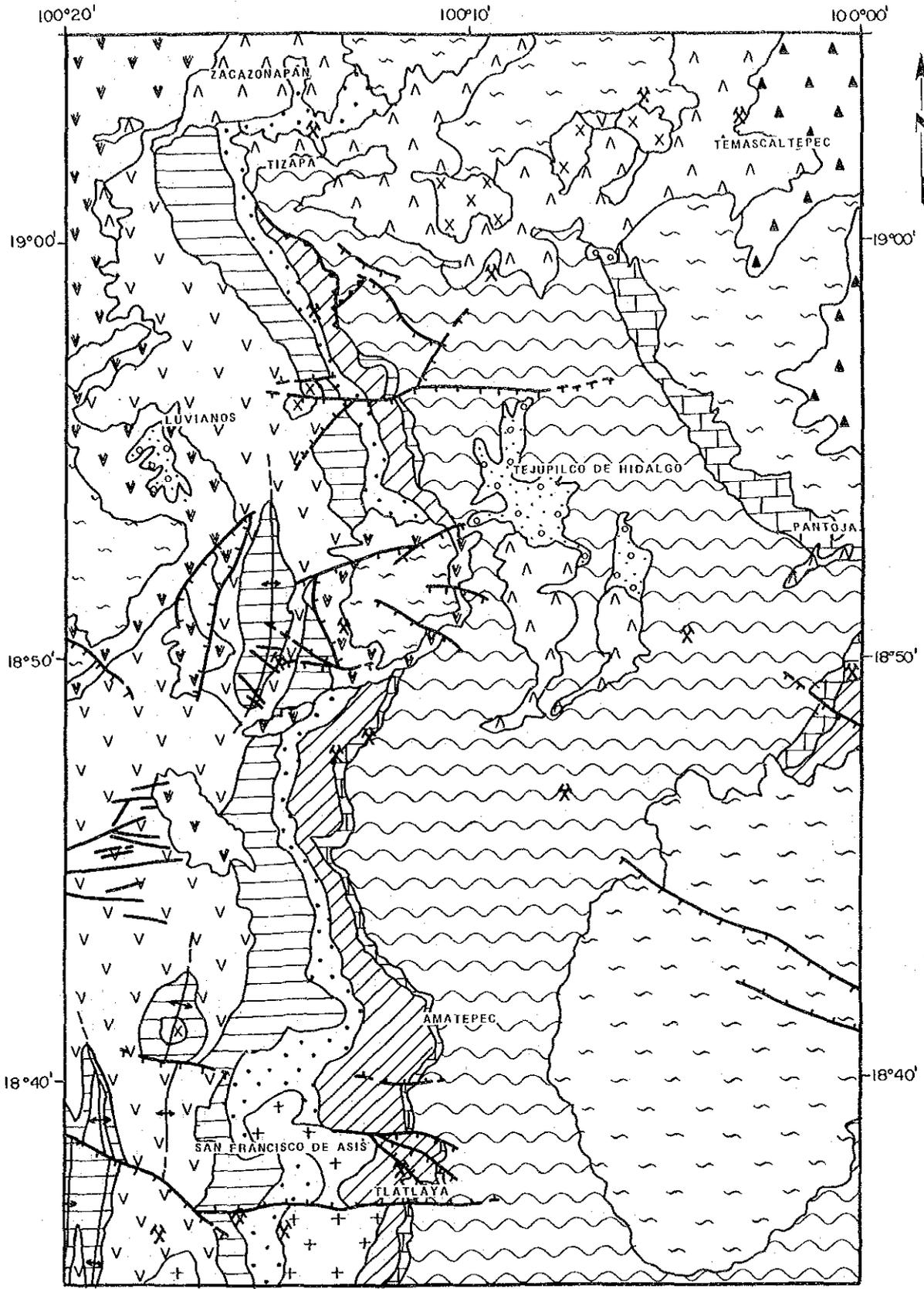
本地域の地質層序は、「テフピルコ図幅」（Cserina, 1982）に詳しく述べられているほかは、チサパ地区、サンタ・ロサ地区、アルモロヤ（Almoloya）地区及びテマスカルテペック地区といった鉱山周辺についていくつかの文献がある。

以下では、これらの文献をもとに地域の地質概要について述べる。図II-2-1に地質・鉱徴地概要図を、図II-2-2に地域の地質層序図をそれぞれ示す。

本地域は、メキシコ中央部を横断する第四紀火山帯を含むリオ・バルサス（Rio Balsas）盆地の縁辺域にあたり、古生代から現世までの時代幅のある変成岩類、堆積岩類、及び火山岩類が分布し、全層厚は約4,700mにのぼる。これらは11の岩石層序学的ユニットに区分されている。

基盤岩とされている変成岩類は、上部古生界？のタスコ片岩類（Esquisto Taxco）からなる。タスコ片岩類は2,000m以上の層厚で、片麻岩や泥質岩、砂質岩及び火山岩起源の片岩類からなる。本層は塊状硫化物鉱床の胚胎層であるが、既存資料からはいくつかの層準に分かれている（Heredia-Barragan et al, 1989）。

中生代の海成堆積岩類は4層（うち1つは2つの部層に分かれる）に区分されている。炭酸塩岩（遠洋性石灰岩）を主体とし、そのほかは海成碎屑岩及び火山岩類から構成され



第四系	沖積層	砂、シルト	アマテペック層	泥質石灰岩、頁岩の層層を挟む
第三系	玄武岩	玄武岩質溶岩流及び火山灰堆積物	アフリタラン層	砂岩、シルト岩、頁岩及びブレイクック 凝灰岩及び石灰岩の層層を挟む
第三系	玄武岩質安山岩	玄武岩質安山岩溶岩	タスコ質凝灰岩	酸性-中性火山岩類、及び千枚岩
第三系	トルネボトラ流紋岩	流紋岩質大噴流及び凝灰岩	凝結性岩類	閃緑岩-花崗閃緑岩
上白垩系	バルマス層	礫岩、砂岩、シルト岩及び安山岩質火砕岩	花崗岩類	花崗岩-モソソ岩
上白垩系	アルセリア層	頁岩、シルト岩及び融流石化した安山岩	陸奥頁岩類	流紋岩-石英安山岩
上白垩系	コチバラ層上層部	石灰岩、頁岩を挟む	断層	
上白垩系	コチバラ層下層部	礫岩、砂岩、グレイワック及び 凝灰岩、石灰岩層等を挟む		

図 II-2-1 地質・鉱微地概要図

SIS-TEMA	SERIES	PISOS EUROPEOS	FORMACIONES	
CUATER-NARIO	HOLOCENICA		ALUVION	
	PLEISTO-CENICA		BASALT [?]	
T E R C I A R I O	PLIOCENICA		ANDESITA [?] BASALTICA [?]	
	MIOCENICA			
	OLIGOCENICA		RIOLITA TILZAPOTIA [?]	
	EOCENICA			
	PALEOCENICA			FORMACION BALSAS [?]
C R E T A C I O	SUPERIOR	GOLFIANA	MAESTRICHTIANO	
			CAMPANIANO	
			SANTONIANO	
			CONIACIANO	FORMACION ARCELJA [?]
			TURONIANO	FORMACION XOCHIPALA [?]
		CENOMANIANO		
	INFERIOR	COMAN-CHEANA COAHUILIANA	ALBIANO	FORMACION AMATEPEC [?]
			APTIANO	
			NEOCOMIANO	FORMACION ACUITLAPAN [?]
JURASCO				
TRIASICO			ROCAVERDE TAXCO VIEJO [?]	
PALEOZOICO	SURERIOR		ESQUISTO TAXCO [?]	
	MEDIO			
	INFERIOR			

图 II - 2 - 2 模式地質層序图

る。ジュラ紀後期～白亜紀前期のアクイトラパン層 (Formacion Acuitlapan) は、タスコ片岩類を不整合に被う。本層は、頁岩、グレイワッケ、砂岩、礫岩及び石灰岩よりなる。白亜紀前期のアマテペック層 (Formacion Amatepec) は、アクイトラパン層を不整合に被う。本層は、葉理構造を持つ泥質ミクライトより構成され、中～薄層の頁岩を挟在する。白亜紀後期のソチパラ層 (Formacion Xochipala) は、上部層と下部層に分かれる。下部層は、緑泥石化した安山岩～玄武岩質安山岩の溶岩流及び同質火砕堆積物より構成される。上部層は、中～薄層の葉理の発達した石灰岩より構成される。テピルコ図幅地域内の中生代海成堆積物の最上位は白亜紀後期のアルセリア層 (Formacion Arcelia) で、見かけ上ソチパラ層を不整合に被う。本層は、シルト岩を挟在する黒色珪質頁岩、グレイワッケ、石灰岩及び安山岩～玄武岩質安山岩溶岩から構成される。

中生代の海成堆積物は、褶曲運動や部分的な衝上断層運動を受け、地域的な侵食面をもつ。この侵食面上に、白亜紀後期～第三紀前期のバルサス層と呼ばれる大陸性の火山岩及び碎屑岩、モラッセ相が不整合に堆積した。

第三紀中期テルサポトラ流紋岩は、流紋岩～流紋石英安山岩～石英安山岩の組成幅をもつさまざまな溶結度の陸上火砕流堆積物より構成される。活発な酸性火山活動が終了すると、さまざまな度合いの開折が進行し、この侵食面を被って、中新世の末期から鮮新世初期にかけて、地域北東部で安山岩質～玄武岩質火成活動による堆積物が形成された。

第四紀の玄武岩質火成活動の噴出物として、火山噴石丘及び溶岩流がある。大局的には、これらの岩石はカンラン石玄武岩であるが、岩石化学的にはカルクアルカリ系列の安山岩ないしは玄武岩質安山岩である。

第四紀の沖積層は、河川の伸びに規制されている。

地域内には、花崗岩から石英閃緑岩組成の花崗岩類侵入岩体がある。これらは中生代の海成堆積岩と接しているが、テルサポトラ流紋岩の後マグマ活動なのかについては、放射年代等の資料に乏しいため、侵入時代や付近に分布する火山岩類との関係は不明な点が多い。そのほかに塩基性岩脈や珪長質岩株及びそれらに付随した岩脈が認められる。

2-2-2 地質構造データ

調査地域は、3回の累進変成期と1回の後退変成期に対応した、3回の圧縮変形と1回の伸張変形を被っているとされる (Cserna, 1982)。

タスコ片岩類の構造を大まかに見ると、NNE-SSW走向で、緩傾斜 (25-30°) SE ないし NW 落ちのフォリエーションを持つ。最初の変形 (S_1) で形成されたこのフォリエーションは、第2期の変形 (S_2) によってへき開やキンクバンドを形成して変位している。この第2期のフォリエーションは NNW-SSE 走向 SW 傾斜を示す。このような面構造は、変形が西側で活動的であり、コルディレラ (Cordilleran) 造山帯に関係していたと考えられている。その広域変成作用は、下位層準に角閃石相があるほかは緑色片岩相に相当する中温低圧で

あった。

中生代の岩石は、アルセリア層堆積以降からバルサス層堆積以前にかけて変形した。この変形作用は、重力テクトニックスの結果もたらされたと解釈されており、本地域西方に発達する背斜構造を形成した。これらの褶曲はN-S方向に配列し、東に向かって非対称となるが、タスコ片岩類の最上位部を含めた変位約1,000mの衝上断層に沿ったデコルマン面上で発達するとされている。

基盤の中生代後期の変形作用は、主要な基盤褶曲であるテフピルコ隆起運動(Tejupilco Uplift)及び2つの褶曲運動、1つは堆積以前形成された構造、もう1つはサブカプアト(Zapcapuato)褶曲運動時に代表される。これらの基盤褶曲はN-S系を示し、バルサス層の堆積以前、たぶんサントピアン(Santopian)期前期に形成された。これらの構造はたぶんいくつかの衝上断層運動によって形成され、西から東にかけての地殻の深部まで達し、造山時火成岩体の上昇によって引き起こされたと考えられる。

本地域にはバルサス層やテルサポトラ流紋岩よりも若い多数の断層が存在する。これらは、走向方向によってNW-SE系、NE-SW系、E-W系及びN-S系の4つのグループに区分できる。これらの断層は、メキシコの南太平洋海縁に沿って、中新世の終わりから今日まで続く、沈み込み過程に関係した圧縮場によって形成された断層系であると考えられている。

2-2-3 年代

当該地域に年代測定データは、次の3つがあるのみである。

タスコ片岩類については、Rb/Sr法年代が測定され、 180 ± 44 Maの値が得られ、ジュラ紀中期に対比されている(Parga-Perez et al. 1981)。

また、地域南方のトラトラヤ付近で、タスコ変片岩中の白雲母についてK-Ar法放射年代が測定され、 79 ± 5 Maの値が得られ、白亜紀後期に対比されている。測定に用いた白雲母は、トラトラヤ花崗岩体の進入に伴う接触変成作用によって生成されたと考えられており、この進入岩体の定置時代を表している(Fries y Rincon-Orta, 1965)。

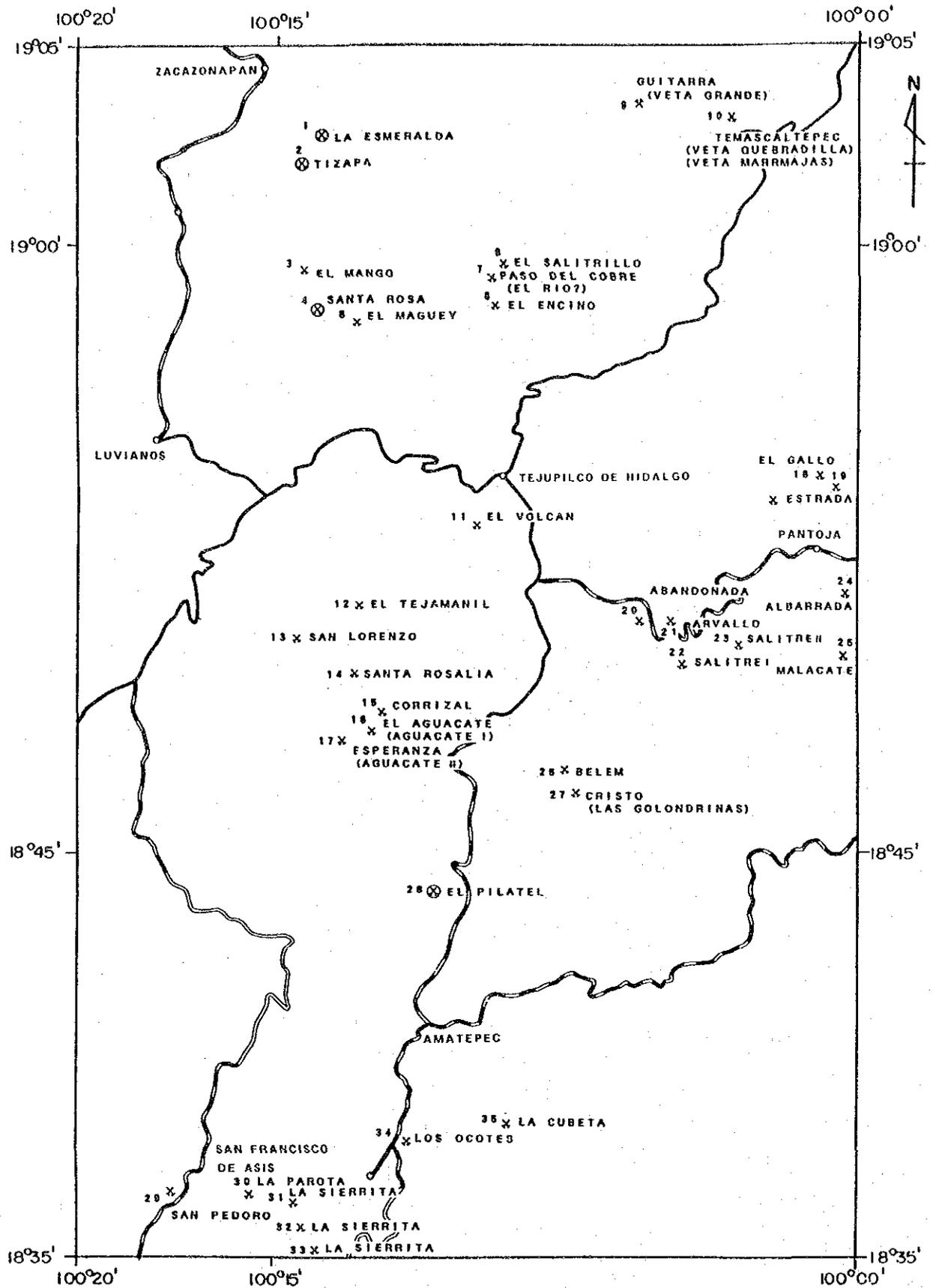
チサパ鉱床については、方鉛鉱中のPbについて $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 法放射年代が測定されており、 $156.3 \sim 103.4$ Maの値が得られている(JICA・MMAJ, 1991)。ジュラ紀後期～白亜紀前期に対比されるが、胚胎母岩であるタスコ片岩類の地質時代よりも若い年代を示している。

2-2-4 鉱床データ

図II-2-3に本調査地域内における鉱区位置を示す。調査地域中央部から北部にかけてCRM鉱区が広く分布するほか、既知鉱山・鉱床周辺では多数の民間鉱区設定が行われているが、所有者等についての詳細は不明なものが多い。

図II-2-4に鉱山・鉱徴地の分布図を、表II-2-1にそれらの一覧表を示す。

現在、稼働中は1991年8月より稼働を始めたギターラ鉱山のみである。鉱床は、過去に



⊗ 塊状硫化物錫山・錫微地 (休山)

× 錫脈型錫山・錫微地 (稼働)

× 錫脈型錫山・錫微地 (休山)



図 II - 2 - 4 錫山・錫微地分布図

表II-2-1 鉱山・鉱微地一覽表(1)

No.	鉱山・鉱微地名	場所	鉱床のタイプ	鉱床周辺の地層ないしは岩相	鉱種	鉱量 (百万ト)	緯度・経度		文献
							緯度	経度	
1	La Esmeralda	Este de Zacazonapan	Sulfuros Masivos	Esquistos Taxco	Pb, Zn, Ag	-	19° 02' 40"	100° 13' 50"	Cserna(1982) CRM(1990)
2	Iizapa	Este de Zacazonapan	Sulfuros Masivos	Esquistos Taxco Fillita graphitica, esquistos sericita-clorita	Fe, Pb, Zn, Ag, Au, Cu	3.0	19° 02' 20"	100° 13' 55"	Heredia-Barragan et al(1989) Parga-perez(1980) JICA-MAJ(1988, 1989, 1990, 1991)
3	El Mango	Sudoeste de El Sauz	Veta	Formacion Amatepec	Ag?	-	18° 59' 20"	100° 15' 10"	CRM(1979, 1990)
4	Santa Rosa	Noroeste de Tejpilco	Sulfuros Masivos	Esquistos Taxco	Fe, Pb, Zn, Ag, Au, Cu	0.3	18° 58' 30"	100° 13' 40"	Cserna(1982) Heredia-Barragan et al(1989) CRM(1978a, b, 1979, 1981)
5	El Maguay	Noroeste de Tejpilco	Veta	Esquistos Taxco	Ag, Au	-	18° 58' 25"	100° 02' 45"	CRM(1979, 1990)
6	El Salitrillo	Nor de Tejpilco	Indice de Sulfuros Masivos	Esquistos Taxco y Roca Granodiorita	Ag, Au	-	18° 59' 40"	100° 09' 10"	Elias-Herrera et al(1981b)
7	Paso del Cobre (El Rio)	Nor de Tejpilco	Sulfuros Masivos	Esquistos Taxco Fillita graphitica, fillita calcarea, esquistos actinolita	Fe, Pb, Zn, Ag, Au, Cu	<0.1	18° 59' 25"	100° 09' 25"	Heredia-Barragan et al(1989) CRM(1979, 1990)
8	El Encino	Nor de Tejpilco	Indice de sulfuros masivos	Esquistos Taxco	Fe, Pb, Zn, Ag	-	18° 58' 50"	100° 09' 15"	CRM(1979, 1990)
9	Guitarra (Veta Grande)	Oest de Temascaltepec	Veta	Granito terciario	Ag, Au	>0.5	19° 03' 30"	100° 06' 00"	Aguilar-Contreras(1981) Bernal-Hernandez et al(1981)
10	Temascaltepec (Veta Quebradilla)	Este de Temascaltepec	Veta	Formacion Amatepec Pizzara, Fillita	Au, Ag	-	19° 03' 30"	100° 03' 00"	Bernal-Hernandez et al(1981)
11	El Volcan	Sur de Tejpilco	Veta	Esquistos Taxco	Ag, Au	-	18° 53' 10"	100° 09' 50"	CRM(1979, 1990)
12	El Tejamanil	Suroeste de Tejpilco	Veta	Andesita Terciaria	Ag, Au	-	18° 51' 10"	100° 12' 50"	CRM(1979, 1990)
13	San Lorenzo	Suroeste de Tejpilco	Veta	Formacion Xochipala	Ag, Au	-	18° 50' 25"	100° 14' 25"	CRM(1979, 1990)
14	Santa Rosalia	Suroeste de Tejpilco	Veta	Andesita Terciaria	Ag, Au	-	18° 53' 10"	100° 09' 50"	CRM(1979, 1990)
15	CORRIZAL (Aguacate)	Suroeste de Tejpilco	Veta	Formacion Amatepec	Ag, Au	-	18° 48' 35"	100° 12' 10"	CRM(1979, 1990)

表 11-2-1 鉱山・鉱徴地一覽表(2)

No.	鉱山・鉱徴地名	場 所	鉱床のタイプ	鉱床周辺の地層ないしは岩相	鉱 種	鉱量 (百万ト)	緯 度	経 度	文 献
16	EL AGUACATE (Aguacate)	Suroeste de Tejupilco	Veta	Formacion Kochipala	Ag.Au	-	18° 48' 15"	100° 12' 25"	CRM(1979, 1990)
17	ESPERANZA (Aguacate)	Suroeste de Tejupilco	Veta	formacion Kochipala	Ag.Au	-	18° 47' 50"	100° 13' 15"	CRM(1979, 1990)
18	El Gallo	Norte de Pantoja	Veta	Riolita Tilzapolta	Ag.Au	-	18° 54' 15"	100° 01' 05"	CRM(1979, 1990)
19	Estrada	Norte de Pantoja	Veta	Riolita Tilzapolta	Ag.Au	-	18° 54' 10"	100° 00' 40"	CRM(1979, 1990)
20	Abandonada	Este de Tejupilco	Veta	Esquisto Taxco	Ag.Au	-	18° 51' 10"	100° 05' 25"	CRM(1979, 1990)
21	Arvallo	Este de Tejupilco	Veta	Esquisto Taxco	Ag.Au	-	18° 50' 30"	100° 04' 00"	CRM(1979, 1990)
22	Salitre I	Este de Tejupilco	Veta	Esquisto Taxco	Ag.Au	-	18° 50' 00"	100° 04' 00"	CRM(1979, 1990)
23	Salitre II	Este de Tejupilco	Veta	Esquisto Taxco	Ag.Au	-	18° 50' 30"	100° 03' 00"	CRM(1979, 1990)
24	Albarrada	Sur de Pantoja	Veta	Esquisto Taxco	Pb, Zn, Au, Ag	-	18° 51' 25"	100° 00' 15"	CRM(1979, 1990)
25	Malacate	Norte de Sultepequito	Veta	Formacion Acuitlapan	Ag.Au	-	18° 49' 55"	100° 00' 20"	Cserna(1982) CRM(1979, 1990)
26	Belem	Sudeste de Amatepec	Sulfuros Masivos o veta	Esquisto Taxco	Ag.Au	-	18° 47' 00"	100° 07' 40"	Cserna(1982) CRM(1979, 1990)
27	Cristo (Las Golondrinas)	Sudeste de Amatepec	Sulfuros Masivos	Esquisto Taxco	Ag.Au	-	18° 46' 30"	100° 07' 20"	Cserna(1982)
28	El Pilatel	Norte de Amatepec	Sulfuros Masivos	Esquisto Taxco	Fe, Zn, Pb, Ag	-	18° 43' 55"	100° 12' 15"	Heredia-Barragan et al(1989)
29	San Pedro	Sudeste de Sanfrancisco de Asis	Veta	Formacion Amatepec	Mn	-	18° 37' 00"	100° 17' 30"	Cserna(1982)
30	La Parota	Sur de Sanfrancisco de Asis	Diseminado	Formacion Kochipala	Hg	-	18° 37' 15"	100° 15' 30"	Cserna(1982)
31 34	La Sierrita	Sudoeste de Sanfrancisco de Asis	Veta	Roca Granitoide	Ag.Au	-	18° 35' 00" ~ 18° 37' 00"	100° 14' 00" ~ 100° 14' 30"	Cserna(1982)
35	La Cubeta	Sur de Amatepec	Indice de Sulfuros Masivos	Esquisto Taxco	Pb, Zn, Cu, Ag	-	18° 38' 30"	100° 09' 00"	Cserna(1982)

採掘されたものないしは現在探鉱中のものとして、塊状硫化物鉱床、金・銀（・鉛・亜鉛）
鉱脈鉱床及び不規則水銀鉱床といった形式の鉱床がある。

1. 塊状硫化物鉱床

塊状硫化物鉱床は5箇所、塊状硫化物鉱床の示徴地として4箇所が知られている。前者のうちサンタ・ロサ鉱山及びパソ・デル・コブレ（Paso del Cobre、その分布からエル・エンシノ（El Encino）と同一とした）鉱山のみが稼行実績の記録がある。エスメラルダ鉱床及びチサパ鉱床は、探鉱ボーリングで鉱石が確認されている。

チサパ地区については、1977年に広域調査がなされ、鉱床の一端が発見された。CRMにより1979年から探鉱が進められ、1987年からは”資源開発協力基礎調査（アルセリア地域）”が開始され、構造坑道掘削及びボーリング調査を行って鉱量計算がなされており、開発段階に進んでいる鉱山である（JICA・MMAJ、1991）。

塊状硫化物鉱床の示徴地のうちエル・サリトリヨ（El Saritriillo）やエル・リオなどは、硫化物の鉱染地とのことであり（CRM、私信）、鉱脈型鉱床の可能性が高い。鉱床はタスコ片岩類中に胚胎するが、いくつかの層準に分かれていると考えられている（Heredia Barragan et al, 1989）。

2. 金・銀（・鉛・亜鉛）鉱脈鉱床

鉱脈鉱床は、基盤岩の変成岩類から第三系の火山岩類までの時代の地層に胚胎し、21箇所が知られている。これらの鉱山のうちのいくつかは位置や名前に不確かなものがあり、同一鉱床がいくつかの名前で呼ばれている場合がある。テマスカルテベックやラ・シェリータのように近接した地域で多数の採掘が行われいくつかの鉱山名がある場合は一括した。

鉱脈型鉱床の分布は、北東のテマスカルテベック周辺、テフピルコ南西、テフピルコ南東からパントハにかけての一带及びトラトラヤ周辺に区分できる。

北東のテマスカルテベック周辺では、粘板岩、安山岩、花崗閃緑岩を胚胎母岩とする方鉛鉱や黄鉄鉱を随伴する金銀鉱脈型鉱床が多数胚胎している。主要鉱脈は、テマスカルテベック北西方4kmのベタ・グランデ（Veta Grande）、南東方2kmのベタ・ケブラディヤス（Veta Quebradillas）及び東方6kmのベタ・マルマハス（Veta Marrmajas）がある。鉱脈の一般走向はNW-SE、傾斜は40~70° NEである。鉱脈は中生代末の造山隆起運動によって生じた断層を充填したものと考えられている（Bernal-Hernandez et al, 1981）。1981年の時点では、17の鉱山事業が行われていたが（Bernal-Hernandez et al, 1981）、金銀の価格低迷から現在ではベタ・グランデに属するギターラ鉱山のみが稼行中である。

テフピルコ南西及びテフピルコ南東からパントハにかけての一带の金・銀鉱脈は、分布については、CRMの地質図資料（CRM、1979、1990）に示されているものの個々の鉱床についての記録がなく不明な点が多い。タスコ片岩類から第三紀層までの幅広い地層に胚胎し

ている。鉍脈の方向は大部分NW-SE系である。

トラトラヤ周辺では、花崗質岩侵入岩及びその周辺のアマテペック層に発達する断層を充填した金銀鉍脈が分布する。今世紀はじめより採掘が始まり、約20箇所の採掘現場があったとされる。鉍脈の走向はNW-SE方向で、通常70°以上の傾斜である。主要な鉍脈は最大幅1.5mであり、延長方向1.5kmに達する (Salas-Castellanos y Silva-Macedo, 1982)。ラ・シェリータ鉍山の石英脈については流体包有物測定が行われ、均質化温度が202.7~298.6°C、NaCl 換算の塩濃度13.7~17.0wt%という値が得られており、鉍液はマグマ起源が優勢であったと考えられている (Salas-Castellanos y Silva-Macedo, 1982)。

3. 不規則水銀鉍床

水銀鉍床は、トラトラヤ岩株の南方の調査地域外に多数存在するが、地域内ではサン・フランシスコ・デ・アシス (San Francisco de Asis) の南西及び南東1箇所あるのみである。水銀は辰砂として岩石の割れ目に沿って不規則網状に産するとされ、小規模に稼行されたといわれているものの記録がなく詳細は不明である (Cserna, 1982)。

4. 探鉍史概略

(1) ボーリング

チサパ、エスメラルダ、サンタ・ロサ及びエル・リオの各鉍山・鉍床について探鉍ボーリングがなされている。チサパ、エスメラルダ及びエル・リオについてはCRMによる探鉍であり資料が保存されているものの、サンタ・ロサについては民間会社によるものであり詳細は不明である。

チサパ鉍床は、1979年~1982年にかけてCRMによる”変成岩プロジェクト (Proyecto Rocas Metamorficas)”の一貫として地質・鉍床調査が始まり、坑外ボーリング47本 (総延長7,719.2m) が行われた。1987年~1991年にかけて”資源開発協力基礎調査 (アルセリア地域)”によりその全容が解明され、鉍床の最大層厚20m、延長約420m、鉍量560万トンと評価されている (JICA・MMAJ, 1991)。同基礎調査では、坑道掘削を行い、坑外ボーリング13本 (総延長3,530.3m)、坑内ボーリング46本 (総延長3,599.7m) が行われて、54本について塊状硫化鉍を把握している。

チサパ北方に隣接するエスメラルダ地区では、1981年~1984年にかけてCRMにより約1.5km×0.6kmの範囲について39本 (総延長8,237.75m) のボーリングが行われた。うち半数近くのボーリングで塊状硫化物捕捉されている (Parga-Perez et al, 1984)。

サンタ・ロサ鉍山の周辺でも10数本の坑外ボーリングが行われたとされるが、詳細は不明である。

アルモロヤ (エル・リオ) 地区については、4本 (総延長345.4m) の坑外ボーリングが行われている。うち1本において厚さ40cmの硫化物集合体が捕捉されたほか、小規模な硫

化物の鉱染が認められている (Elias-Herrera y Obregon Ramos, 1981b)。

(2) 地化学探査

1979年～1984年にかけてCRMによりチサパ地区及びアルモロヤ地区 (エル・リオ付近) において、気化水銀測定が実施された。両地区ともSintrex社製HGG-3によるガス吸引法を用い、測線間隔50m、測線上の測点間隔は25mおきで行っている。統計処理により60ppb以下の濃度をバックグラウンド値、110ppb以上を高異常値として解析して、異常域の一部が地表における酸化帯の分布に一致しているものもあることを指摘している (Elias-Herrera y Obregon Ramos, 1981b, Gutierrez-Tipia y Gomez Moreno, 1982)。

(3) 物理探査

広域調査としては、メキシコ全土の重力調査によるブーゲ異常図がある (Mena et al, 1992) のみで、磁気調査、電磁気調査の資料は認められない。

CRMによりチサパ地区からエスメラルダ地域にかけてやアルモロヤ地区の狭い範囲については、電気探査 (IP法) が行われているが、タスコ片岩類中の石墨によって干渉され実効性は確認されていない。 (Hernandez-Perez, 1979, Elias-Herrera y Obregon Ramos, 1981b)。

チサパ地区については、約4km²の範囲でTEM法調査、流電電位法調査 (CP法) 及びボーリングコアの比抵抗 / IP値測定が行われている。TEM法でも石墨片岩と塊状硫化鉱との識別は困難であった。流電電位法調査 (CP法) は、7本のボーリングを用いて測定が行われ、鉱床の連続性を確認している (JICA・MMAJ, 1988)。

第3章 地質調査

3-1 調査方法

現地調査に際しては、衛星画像解析及び既存データ解析の結果をもとに、調査ルートを設定し地質調査及び鉱徴地調査を行った。使用した地形図は縮尺5万分の1の地形図を拡大したもので、地質調査は2万5千分の1、鉱徴地調査は1万分の1である。その結果についてはルートマップに観察事項を記入し、重要な露頭についてはスケッチ及びカラー写真撮影を行い、地質調査は5万分の1、鉱徴地調査は1万分の1の地質図にそれぞれまとめた。また、踏査にあたっては航空写真を活用した。鉱化帯、露頭位置は簡易測量により求め、必要な試料を採取した。

3-2 調査結果

3-2-1 地質概要

調査地域は、メキシコの構造帯のうち、新期火山地帯のほぼ中央部に位置する（図I-3-1）。この新期火山地帯は、メキシコ中央部をWNW-ESE方向に太平洋側からメキシコ湾側のベラクルス州にかけて横切るものであり、中新世以降現在に至るまで活発な火山活動が続いている。このような火山岩類に覆われて、調査地域には二畳系～白亜系の変成岩類～弱変成岩類が分布する。すなわち、本地域の地質は、変成岩類、第三系、第四系及び貫入岩類で構成される（図II-3-1）。

変成岩類は、さらにアロヨ・フリオ片麻岩、タスコ片岩類、石灰質層群（仮称）に区分される。アロヨ・フリオ片麻岩はチサパ南東の沢にだけ分布し、花崗岩質岩を起源とする。タスコ片岩類は地域中央部を北から南へと帯状に分布し、泥質片岩を主とし部分的に火山岩を起源とする片岩が卓越する。タスコ片岩類の最上部にチサパタイプの塊状硫化物鉱床が胚胎される事が明らかとなった。石灰質層群は石灰質千枚岩層、緑色火山岩層（枕状溶岩を含む）、石灰質砂岩層及び粘板岩層からなり調査地域の西部及び北東部に分布する。上位のものほど変成度は低い。

第三系は、バルサス層とテイルサポトラ流紋岩類で構成される。バルサス層は、安山岩質溶岩、礫岩及び砂岩・泥岩の互層からなり全体に赤褐色を呈する。テイルサポトラ流紋岩類は、特徴的な火砕流台地を形成している。流紋岩質凝灰岩、溶結凝灰岩を主とし安山岩溶岩及び安山岩質火砕岩を伴う。

第四系は、玄武岩溶岩とスコリア丘、沖積層からなる。玄武岩溶岩は地形的に明瞭な溶岩流地形と台地を形成しており、スコリア丘を伴う場合が多い。沖積層はテフピルコ、ルビアノスなどの盆地、河川沿いに分布し、未固結の礫・砂を主としている。

貫入岩類は、花崗岩類、岩脈・岩床類からなる。花崗岩類は、岩株状のものが北部及び南部に分布し、周囲の変成岩類に熱変成作用を及ぼしている。岩脈・岩床類には、パイロキシナイト、はんれい岩～閃緑岩、安山岩、デイサイト～流紋岩などがある。このうち、

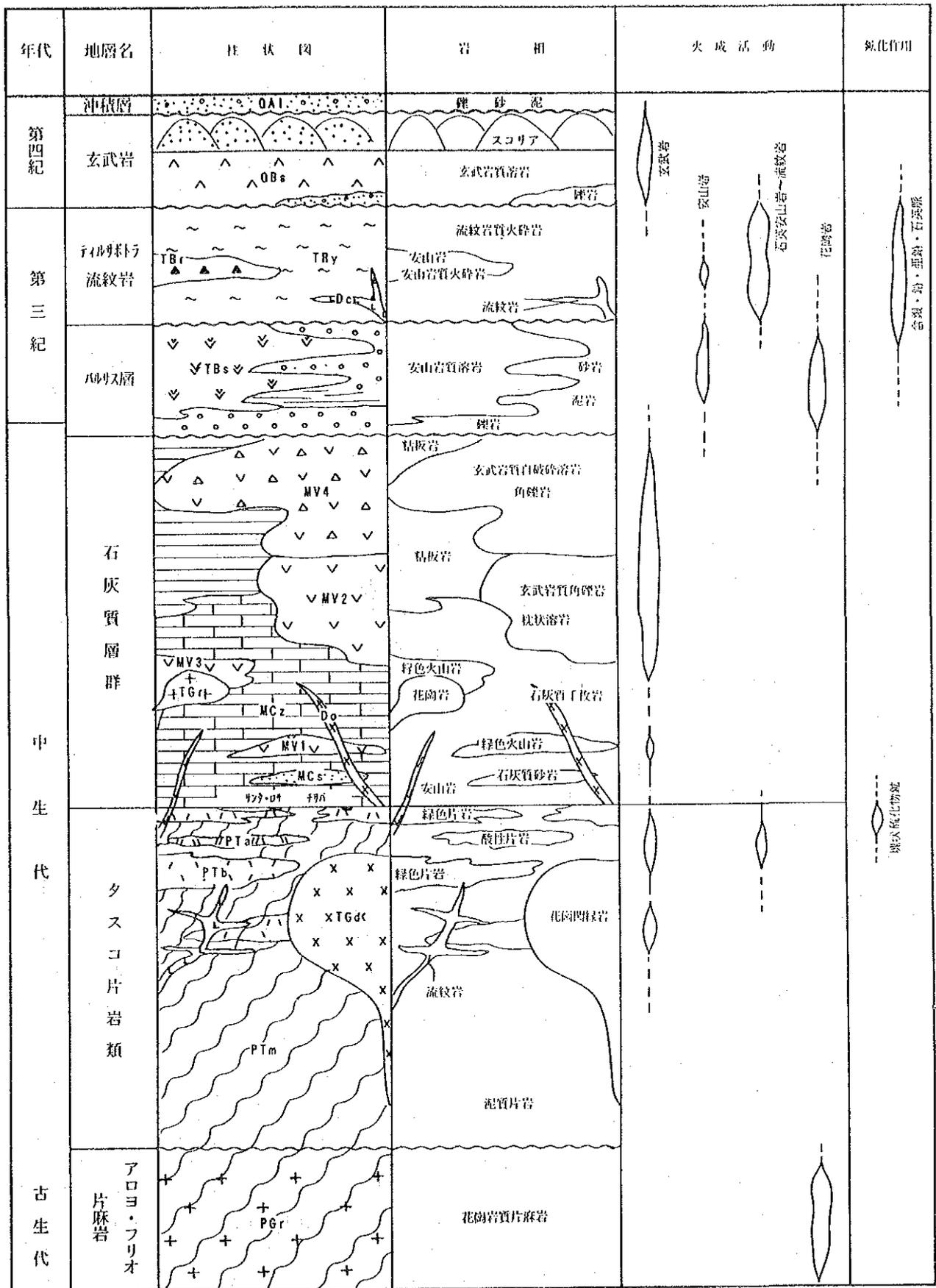


图 II-3-1 模式柱状图

デイサイト～流紋岩は、鉍脈鉍床の分布と密接に関係していることが明らかとなった。

地質構造的には、タスコ片岩類の分布する南北のゾーンに対してテフピルコ隆起帯（Cserna, 1982）が想定されているが、本調査の結果チサパ付近からテフピルコ東部を経てアマテペック東方を通る背斜構造の存在が明らかとなった。また、変成岩類には広域的な変形作用の結果形成されたと考えられる重複した褶曲構造（劈開を伴う）が発達している。断層構造としてはE-W系、NW-SE系、N-S系のものが認められるが、大部分の鉍脈型鉍床がNW-SE系の断層・断裂に伴われている。

3-2-2 地質各論

地質図及び断面図を別添図Ⅱ-3-1、別添図Ⅱ-3-2に、また、採取した試料位置図を別添図Ⅱ-3-3に示した。さらに層序対比表を表Ⅱ-3-1に、顕微鏡観察結果及び化学分析結果を表Ⅱ-3-2、Ⅱ-3-3にそれぞれ示した。

1. 変成岩類

変成岩類は、アロヨ・フリオ片麻岩、タスコ片岩類、石灰質層群に区分できる。

(1) アロヨ・フリオ片麻岩 (PGr)

本地域に分布する岩石の中で最も古い岩石と考えられている。

【分布】

本岩は、チサパ南東のアオガド (Ahogado) 沢及びフリオ (Frio) 沢に認められる。

【岩相】

中粒～粗粒花崗岩質片麻岩であり、眼球状構造及び暗灰色閃緑岩質包有物が認められる。顕微鏡下では、石英、斜長石、カリ長石、白雲母、黒雲母を主とし、緑簾石、緑泥石、スフェーン、ジルコン、鉄鉍物を伴っている。

(2) タスコ片岩類

テフピルコ図幅 (1/10万) 及びタスコ図幅 (1/10万) で示されたタスコ片岩類にほぼ相当する。トラトラヤ (Tlatlaya) 付近の試料から得られたK/Ar年代は 79 ± 5 Ma (Fries 他, 1965) であるが、花崗岩の貫入の影響があり実際の年代はこれより古いと考えられている。また、Cuevasほか (1981) は 180 ± 44 MaというRb/Sr年代を報告しているが位置などについては明らかでない。

【分布】

北部のチサパ付近から幅10数kmで南南東に向かって帯状に分布する。

【下位との関係】

チサパ南東の沢で下位のアロヨ・フリオ片麻岩と接しているが、境界ははっきりしない。チサパ地域の調査を行ったParga他 (1981) は、両者の関係について「漸移的な印象を持つ」としながらも不整合としている。