

100 3

平成 11 年 3 月

JICA LIBRARY



J1150211(9)

CD-ROM 付

100 3

平成 10 年度アルゼンティン共和国

東部アンデス地域

資源開発協力基礎調査報告書

最終報告書

平成11年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1150211 (9)

は し が き

日本国政府はアルゼンティン共和国政府の要請に応え、同国のラリオハ州、サンファン州、メンドーサ州のチリとの国境よりに位置する東部アンデス地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため衛星画像解析、地質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、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9年度が第1年次にあたり、金属鉱業事業団は4名の調査団を編成して平成9年10月6日から平成9年12月13日、および平成10年3月2日から3月20日までの2回に渡って現地に派遣した。また第2年次は平成10年10月5日から12月11日の間同じく4名からなる調査団を派遣した。現地調査は、アルゼンティン共和国政府機関、経済公共事業省・鉱山庁の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、第1年次、第2年次の調査結果をとりまとめた最終報告書である。

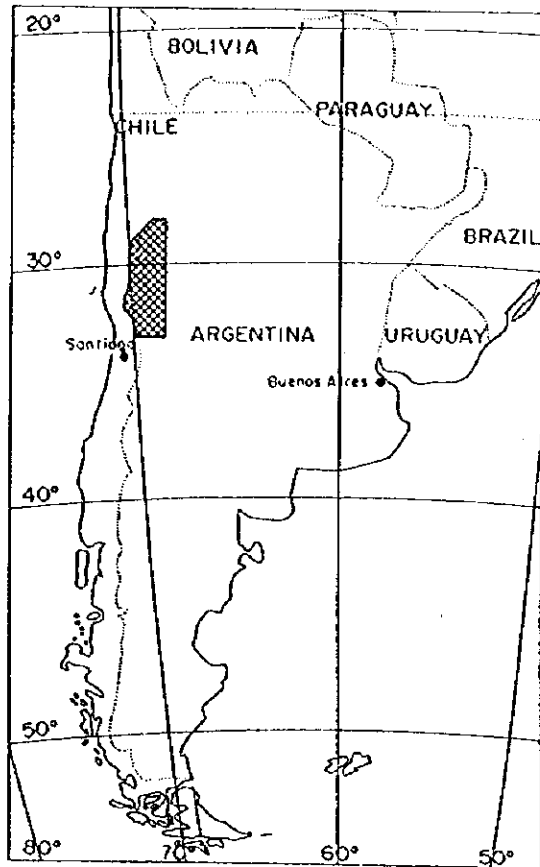
おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたアルゼンティン共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在アルゼンティン共和国日本国大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

平成11年3月

藤田 公 郎

国 際 協 力 事 業 団
総 裁 藤 田 公 郎

金 属 鉱 業 事 業 団
理 事 長 檜 山 博 昭



Frontispiece. Location of Eastern Andean area

要約

東部アンデス地域の第2年次調査として、JERS-1 OPS データを用いる変質鉱物の推定分類、およびグランドトルースを実施した。

衛星データを用いた変質鉱物の記載は、東部アンデス地域調査範囲の西側、Principal CordilleraおよびCordillera Frontalで取得されたJERS-1 OPS画像9シーンを用いて実施した。抽出対象とした変質鉱物は明礬石、カオリナイト、セリサイト、褐鉄鉱

(goethite)の4種であり、解析結果は150,000分の1に画像化して表現された。解析結果とグランドトルース調査結果の対比によれば、JERS-1 OPSデータによる解析図には以下の特徴が認められた。(1)JERS-1解析図は明礬石とカオリナイトをしばしば混同する。しかし酸性変質鉱物として一括した場合、かなり精度の良い対応がみられる。(2)第1年次作成のLandsat画像から判読された熱水変質帯にセリサイト系変質が記載される場合、これは現実の表層地質と良い一致を示す。(3)熱水変質帯以外の部分、特に水系を中心とした範囲には、著しく広い範囲で誤認が生じるため、必ず比演算画像あるいはフォールスカラー画像で当該変質の妥当性を確認する必要がある。以上の画像の特徴を踏まえた解析を行い、既存鉱徴に伴う変質鉱物の推定や、特にセリサイト変質部に注目した新規鉱徴地の把握に利用した。

グランドトルース地点の抽出にあたっては、第1年次解析で抽出された広域的地質要素、即ち、(1)第三紀貫入岩体、(2)二畳-三畳紀酸性深成岩体分布域の東縁、および(3)オールドビス紀石灰岩体(San Juan層)らの地質状況を有望示徴として考慮したほか、既存文献から判断される有望鉱徴、JERS-1衛星データから認識できる有望変質、カウンターパートであるSEGEMARの推薦地区を考慮して決定した。この結果、本年度は以下に示す6地域に対して40地点のグランドトルースを実施した：(1)Castano 地域、(2)Tocota-Colanguil地域、(3)La Criollita 鉱徴地 (Pre-Cordillera in La Rioja)、(4)Cordon de la Brea地域、(5)Macho Muerto地域、および(6)Valle del Cura地域。このうち、比較的地質情報の乏しいCastano、Macho Muerto、Cordon de la Breaの各地域については、より重点をおいて調査を行い、地質データの集積に努めた。またTocota-Colanguil地域では、JERS-1 OPSデータの解析から有望視されたセリサイト変質帯を調査したが鉱徴把握には至っていない。

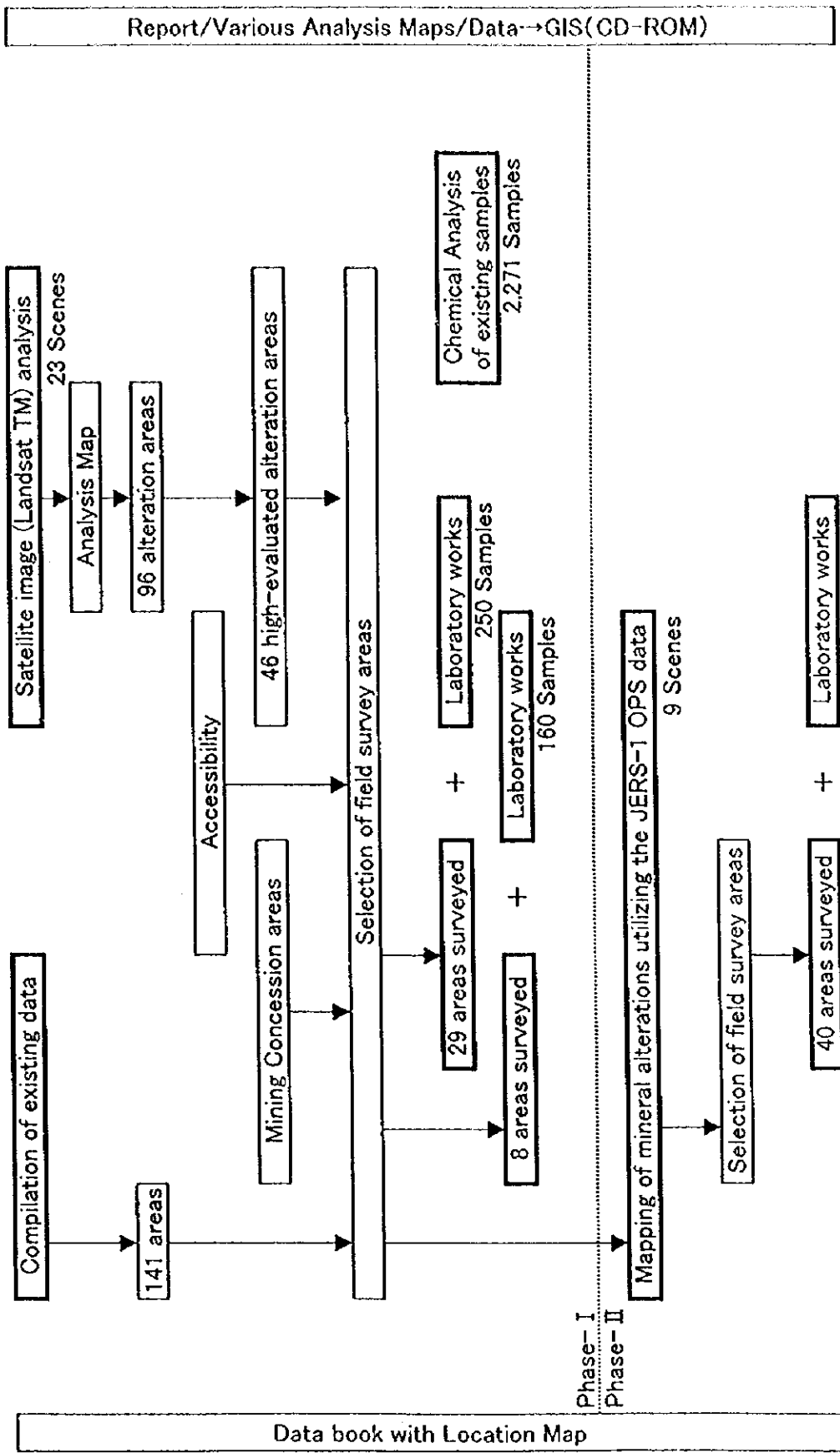
グランドトルースの結果、第三紀火成岩がまとまって分布するチリとの国境地帯(Macho Muerto、Valle del Cura)に分布する大多数の鉱床は高硫化系・浅熱水性の変質帯であり、金鉱徴を伴うことが判明した。このような変質帯では、酸性変質の縁辺に発達する中性変質帯中の石英脈が比較的高い金分析品位を呈する傾向があり、探査上注目される。この地域のK-Ar年代測定結果は、Los Mogoles、Filo AmarilloのようにMaricunga Bellと同じ下部~中部中新世を示すもの、またEl Potroのように後期白亜紀の生成年代を示すものの両者が分布することを示した。

二疊～三疊紀火成岩分布域東縁には、ポーフイリー型鉱床、多金属鉱脈型鉱床、鉱脈型金鉱床、電気石+石英化する母岩に伴われる金あるいは銅鉱床らの多様な鉱床・鉱微地が分布する(Castano, Tocota-Colanguil, Cordon de la Brea)。このような鉱床タイプの中では、若い貫入岩体に伴われるポーフイリー型鉱床が探査上最も注目される。特に Colanguil バソリス内部に分布するこのような貫入岩体を調査することは意義があり、新規鉱微地の発見も期待できると考えられる。また第1年次の衛星画像解析の結果、有望視されたCastano地区の変質帯群のなかでは、Manrique変質帯が浅熱水性金鉱床の賦存が期待される地域として注目される。

Pre-Cordilleraのオルドビス系(La Criollita)に対してもグランドトルースを行ったが、本年度は有望鉱微を把握するには至らなかった。衛星画像解析から Guachi 以外の地区に認識可能な変質帯は認められないことから、他の有望地質セッティングに比較して有望性は低いと判断される。

第1, 2年次の調査結果を総括し、この中から探査余地が大きく、銅ないし金の有望鉱微が認められ、現在探査が行われていない次の9地域を東部アンデス地域の有望地区として抽出した：ラリオハ州：El Potro, La Ollita-Vicunita 変質帯；サンファン州：Rio Prio, Cordon de la Inca, Filo Amarillo-Bordo Atravesado, Manrique, Guachi, メンドーサ州：Paramillos Norte - Creston Amarillo の環状変質帯, San Benicio-Cortaderous。また新規鉱微地の発見が期待される要調査範囲としては、サンファン州の Colanguil バソリス、およびCastano地域西方のLas Burras変質帯などが含まれる第三紀火成岩の分布域が揚げられる。

最後にアルゼンティン側に対しては、民間の探鉱を促進するためにはアクセス道路の整備が大切であることを付け加えたい。



Survey Procedure in the Eastern Andes Area, Argentina

0

0

1

目次

はしがき	
調査地域位置図	
要約	i
目次	v
図表一覧 (Figures and Tables)	viii
第I部 総論	1
第1章 序論	1
1-1 調査実施の経緯	1
1-2 第1年次調査の結論と提言	4
1-2-1 第1年次調査の結論	4
1-2-2 第1年次調査の提言	4
1-3 第2年次調査の概要	8
1-3-1 調査の目的	8
1-3-2 調査地域	8
1-3-3 調査方法	8
1-3-4 調査団の編成	8
1-3-5 調査期間および調査量	11
第2章 調査地域の地理	13
2-1 位置および交通	13
2-2 地形および水系	18
2-3 気候および植生	19
第3章 調査地域の地質、鉱床	20
3-1 地質および造構史	20
3-2 鉱床概要	35
第4章 総合解析	40
4-1 JERS-1 OPSデータによる変質鉱物の抽出結果とグラントルース結果の 対比	40
4-2 東部アンデス地域の鉱化帯の特徴および鉱床賦存のポテンシャル	41
第5章 結論および提言	42
5-1 結論	42
5-2 今後の調査への提言	44

第II部 各論	45
第1章 グランドトルース	45
1-1 調査対象地域の選定	45
1-2 調査結果	46
1-2-1 Castano 地域	46
1-2-2 Tocota-Colanguil 地域	80
1-2-3 Pre-cordillera in La Rioja	99
1-2-4 Cordon de la Brea 地域	101
1-2-5 Macho Muerto 地域 (1998年11月)	113
1-2-6 Macho Muerto 地域 (1998年3月)	118
1-2-7 Valle del Cura 地域	130
1-3 調査結果の要約	146
第2章 Plan La Rioja残試料の分析	151
第3章 総合解析	152
3-1 JERS-1 OPSデータによる変質鉱物の抽出結果とグランドトルース結果の 対比	152
3-2 東部アンデス地域の鉱化帯の特徴	159
3-2-1 チリ国境付近の鉱化帯	159
3-2-2 二疊～三疊系分布域東縁の鉱化帯	165
3-2-3 オルドビス系中の鉱化帯	168
3-3 鉱床賦存のポテンシャル	170
第III部 結論および提言	179
第1章 結論	179
第2章 今後の調査への提言	181
引用文献 (References)	182
写真 (Plates)	
付録 (Appendix)	
Appendix 1 東部アンデス地域鉱床・鉱徴地総覧 (最終版)	
Appendix 2 グランドトルース採取試料室内試験結果	
Appendix 3 東部アンデス地域調査結果GISファイル (CD-ROM)	
別冊報告書	
平成10年度アルゼンティン共和国資源開発協力基礎調査 鉱物資源広域調査 衛星画像解 析報告書	

Figures and Tables

Frontispiece. Location of Eastern Andean area

Figure I-1-1 Location map of the past projects.

Figure I-1-2 Location of promising areas and survey candidates recommended in the first-stage surveys, Eastern Andean area.

Figure I-1-3 Location map of the survey area.

Table I-1-1 Record of the survey.

Table I-1-2 Laboratory test (1998, October to December)

Table I-1-3 Laboratory test (1998, March)

Figure I-2-1 Areal geologic and topographic unites in the Eastern Andean area, Argentina.

Figure I-2-2 Climatological fact in the city of La Rioja, San Juan, and Mendoza. (after National Mining Secretariat, 1994)

Figure I-3-1 Geologic map of the Eastern Andean Area, Argentina (modified from Guerrero, 1993; Ragona et al., 1995; and Caminos et al., 1993)

Figure I-3-2 Geologic map of the Colanguil Batholith, QAP diagram, and direction of dikes. (after Sato et al., 1990)

Figure I-3-3 Map of southern Gondwana granite-rhyolite provinces. (after Kay et al., 1989, Fig. 1)

Figure I-3-4 Simplified paleogeography, Jurassic-Early Cretaceous. (after Davidson and Mpodozis, 1991, Fig. 1)

Figure I-3-5 Mesozoic and Cenozoic magmatic arcs in northern and central Chile, including extremely western part of Argentina. (after Davidson and Mpodozis, Fig. 2)

Figure I-3-6 Distribution of late Cenozoic volcanic centers with respect to the modern seismic zone. (after Davidson and Mpodozis, 1991)

Figure I-3-7 Location of gold and copper deposits and their ages in northern Chile and northwestern Argentina. (after Sillitoe, 1991 Fig. 2)

Table I-3-1 Results of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dating of Colanguil Batholith, and occurrence of dikes associated. (after Sato et al., 1990)

- Figure II-1-1 Location of groundtruth-site in the phase II survey, Eastern Andean area.
- Figure II-1-2 Landsat TM color-ratio composite of the Castano area, after JICA/MMAJ/JMEC (1998). BGR: 3/1 4/5 5/7
- Figure II-1-3 JERS-1 OPS false color composite of the Castano area. BGR:358
- Figure II-1-4 Lithology, structure, and hydrothermal alteration interpreted from 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite, false color composite, and JERS-1 OPS data, Castano area.
- Figure II-1-5 Regional geologic map in the Castano area, Eastern Andean area. (after Direccion General de Fabricaciones Militares y Provincia de San Juan, 1969)
- Figure II-1-6 Regional geochemical map in the Castano area, Eastern Andean area. (from Direccion General de Fabricaciones Militares y Provincia de San Juan, 1969)
- Figure II-1-7 Three alteration zones in the Venezuera alteration
- Figure II-1-8 Geology and vein system in the Castano Viejo mining district. (after Cardo, 1998)
- Figure II-1-9 Geologic map in the Manrique alteration, Castano area. (after Cardo and Perez, 1995)
- Figure II-1-10 Sample location of the previous survey in Manrique alteration: Cardo and Perez (1995)
- Figure II-1-11 Landsat TM false color composite of the Tocota-Colanguil area, from a regional mosaic image in JICA/MMAJ/JMEC (1998). BGR:145.
- Figure II-1-12 Lithology, structure, and hydrothermal alteration interpreted from 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite, false color composite, and JERS-1 OPS data, Tocota-Colanguil area.
- Figure II-1-13 Geologic setting of the Mina Colo-Colo and Mina Krimer, Tocota area.
- Figure II-1-14 A field sketch of north-east outcrop of El Salado Mine, Tocota-Colanguil area.
- Figure II-1-15 Alteration zoning of the Vicunila (El Salado) porphyry system, Tocota-Colanguil area.
- Figure II-1-16 Landsat TM color-ratio composite of the Cordon de la Brea area and the Macho Muerto area. BGR: 3/1 4/5 5/7 (after JICA/MMAJ/JMEC, 1998)

- Figure II-1-17 JERS-1 OPS false color composite of the Cordon de la Brea area and the Macho Muerto area. BGR:358
- Figure II-1-18 Lithology, structure, and hydrothermal alteration interpreted from 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite, false color composite, and JERS-1 OPS data, Cordon de la Brea and Macho Muerto area.
- Figure II-1-19 Landsat TM false color composite of the Valle del Cura area, from a regional mosaic image in JICA/MMAJ/IMEC (1998). BGR:145.
- Figure II-1-20 Lithology, structure, and hydrothermal alteration interpreted from 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite, false color composite, and JERS-1 OPS data, Valle del Cura area.
- Figure II-1-21 Distribution of breccia pipes and seven excursion stop-point in the Veradero Norte prospect. (from Argentina Gold PR map)
- Figure II-1-22 Schematic relationship of alteration and veining to the nature of the host rocks, in the Rio Frio prospect, Valle del Cura area.
- Figure II-1-23 Schematic geologic column with respect to hydrothermal alteration and mineralization in the Rio Frio prospect, Valle del Cura.
- Figure II-1-24 Lithology, structure, and hydrothermal alteration interpreted from 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite, false color composite, and JERS-1 OPS data, Eastern Andean area.
- Table II-1-1 Legend of a comprehensive interpretation map.
- Table II-1-2 Assay results of the previous surveys in Manrique alteration. (after Cardo and Perez, 1995)
- Table II-1-3 Summary of groundtruth, Eastern Andean area.
- Figure II-2-1 A sample-output image of trace-level geochemistry applied on rocks and stream-sediments taken in Plan La Rioja.
- Table II-2-1 Elements and detection limits (INAA).
- Table II-2-2 Elements and detection limits (ICP-AES).
- Figure II-3-1 Convolved reflectance spectra of USGS spectral library data. (unpublished data of Miyatake, S.)
- Figure II-3-2 Comprehensive map including geologic structure, hydrothermal alteration, and groundtruth-site, Eastern Andean area.
- Figure II-3-3 Idealized ore-deposit model hosted in Ordovician horizon, Pre-Cordillera in La Rioja and San Juan

Figure II-3-4 Stretched color-ratio composite in the Paramillos area

(BGR: 3/1 4/5 5/7)

Table II-3-1 Summary of survey results of selected hydrothermal alterations,
Macho Muerto area and Valle del Cura area

Table II-3-2 Summary of survey results of selected hydrothermal alterations,
Castano area, Tocota - Colanguil area, and Cordon de la Brea area.

Table II-3-3 Promising groundtruth sites in the Eastern Andean project.

第 I 部

平成10年度アルゼンティン共和国東部アンデス地域
資源開発協力基礎調査 鉱物資源広域調査報告書

第1部 総論

第1章 序論

1-1 調査実施の経緯

国際協力事業団(JICA)/金属鉱業事業団(MMAJ)によるアルゼンティン共和国における資源開発協力基礎調査は1977年から開始され、94年までの間に以下の6地域において実施されている。(実施年は日本の会計年度表示)(Fig. 1-1-1参照)

北部地域(資源開発調査)	1977-1980年
ファマティナ地域(地域開発計画調査)	1981年
バタゴニア地域(資源開発調査)	1981-1983年
アルトデラブレングラ地域(資源開発調査)	1986-1989年
ファラジョンネグロ地域(地域開発計画調査)	1990-1991年
西部地域(資源開発調査)	1992-1994年

この間の調査を通じ、カタマルカ州のアルト・デ・ラ・ブレングラ金鉱山(埋蔵鉱量約194万t)の開発をみるなど、JICA/MMAJによる調査は同国鉱業の発展に一定の役割を果たしてきている。

平成9年度から実施される東部アンデス地域の広域調査は、平成7年10月および8年10月のアルゼンティン政府からの要請に応えたものである。本調査に先立ち、要請内容の詳細把握および、要請地域の評価を目的として、MMAJ/国際鉱物資源開発協力協会(IMEC)によるプロジェクト選定調査団が平成9年1月~2月に派遣された。当初調査が要請された地域は2地域あり、東部アンデス地域としてラ・リオハ、サン・ファン、メンドーサの3州、またラ・キアカ地域として北部のフイ、サルタ、カタマルカの3州について、計約1か月の間、情報収集、現地調査、および解析が行われた。これに平行して、ランドサットデータを用いた衛星画像解析が実施され、アルゼンティン国北西部全域にわたって1:250,000スケールの画像作成と地質判読、広域的な地質構造の解析が行われた。これらの調査結果を踏まえて東部アンデス地域が、本年度開始の鉱物資源広域調査の対象地域として取り上げられることとなった。平成9年7月16日付で日本国・金属鉱業事業団とアルゼンティン共和国・経済公共事業省・高鉱工業庁との間でScope of Work(S/W:作業実施協定書)が調印された。

本調査の主旨は、既存情報および衛星画像を解析し、グランドトールス(現地踏査)を実施し、広範な対象地域から探査対象となる鉱床賦存有望地域を抽出する点にある。調査期

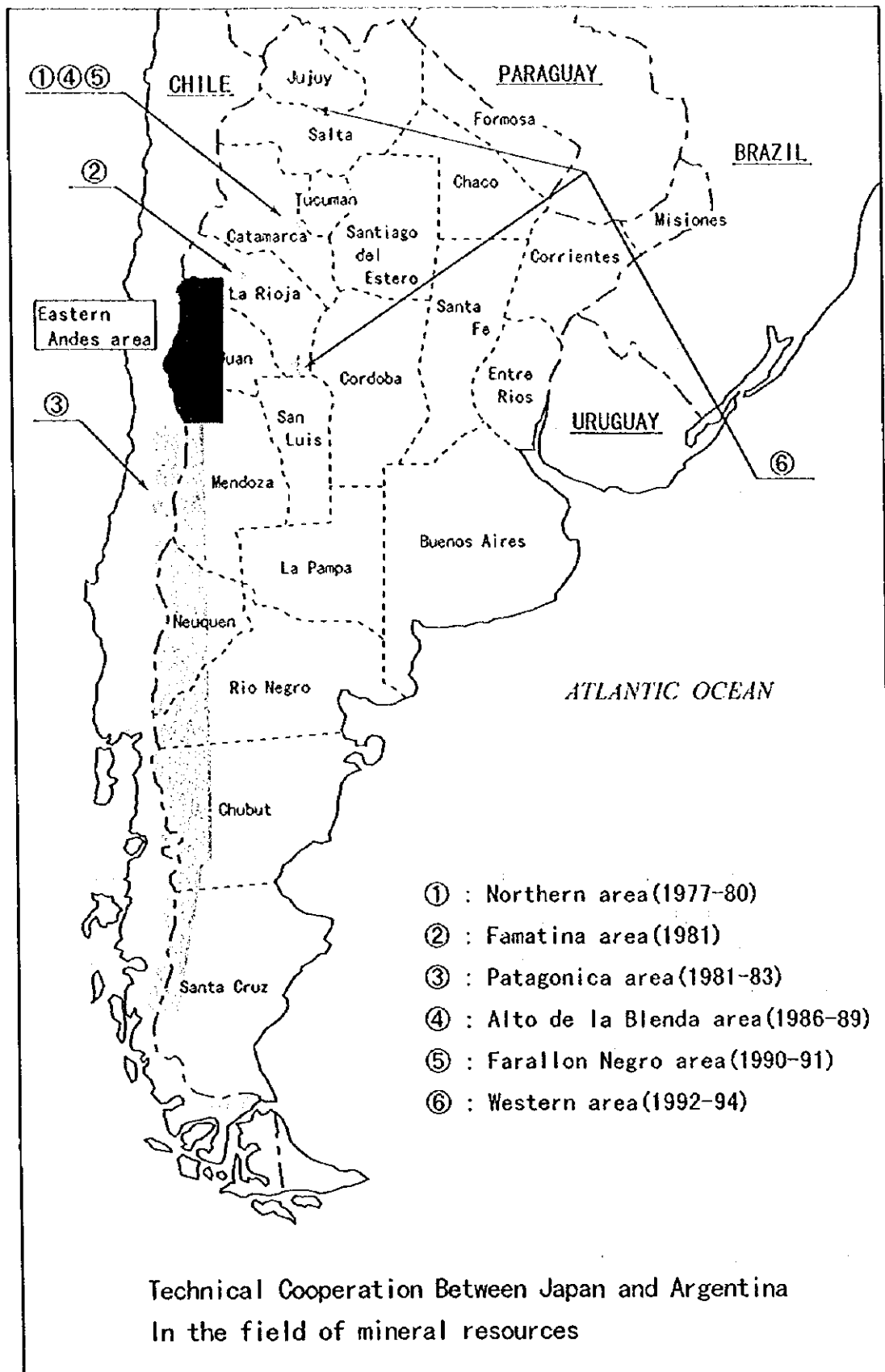


Figure I-1-1 Location map of the past projects.

間は2か年であり、最終年度に当たる本年度は、JERS-1 OPSデータを用いる精密衛星画像解析およびランドトランスを実施した。

1-2 第1年次調査の結論と提言

1-2-1 第1年次調査の結論

第1年次調査は現地の地質情報の収集と新規鉱徴地の発見を目的に、既存資料の収集と解析、ランドサットTM画像データの解析、およびグラントルースを実施した。解析の結果、東部アンデス地域の場合、酸性火成岩からなる基盤中に第三紀酸性半深成岩が貫入する地点、二畳～三畳紀貫入岩体が分布する地点、またオルドビス紀層序中の第三紀貫入岩分布地点が有望であり、ポーフィリー型金・銅・モリブデン鉱床とこれに関連する鉱化作用が期待されると結論づけた。

第1年次グラントルースは文献により判断された既存鉱徴地のほか、カウンターパート(SEGEMAR)推薦の鉱徴地、および衛星画像から抽出された既存情報を欠く変質帯を調査した。調査地域西部は残雪のため多くが立ち入り不能であり、地域中央部～東部のPre-Cordillera主体の調査を実施した。調査地区は合計29カ所である。露頭の観察や室内試験の結果から、San Francisco de los Andes およびその周辺(Tocota district), Chita, Guachi, Rio Gualcanayo～La Abundancia, Pampa Fria, La Negrita, San Benicio～Cortaderas, San Jorge, Paramillos Norte, Paramillos Sur, Grupo Oro del Sur (以上調査実施順)の11地域が探査余地が大きく、期待できる鉱徴地と評価された。また新規鉱徴地発掘を目的として、作業仮説をもとにCerro Negro, Granite, El Fierro Alterationらの既存情報を欠く変質帯を調査したが、これらのいずれにも鉱化作用は確認できなかった(Fig. 1-1-2)。

東部アンデス地域は広範であり、第1年次調査では計画の一部の鉱化帯を訪れることができたに過ぎない。新規鉱徴地の発掘には本格的には至っておらず、次年度の課題とした。

1-2-2 第1年次調査の提言

東部アンデス地域は77,000km²と広大であり、ここに分布する鉱床タイプも多様である。第1年次は調査地域全土の理解を目的に、包括的なまとめに重点をおいて調査を行った。残雪や限られた行程のため、予定した全ての地点を調査することはかなわず、2年次も引き続き第1年次目的を捕捉する調査を実施したい。第2年次調査の補足調査地区としては、(1)Cordon de la Brea地区、(2)Calingasta - Tocota地区、(3)Las Openas～El Salado地区、(4)Valle del Cura地区、(5)Cordirella Principalのポーフィリー鉱床(特にEl Pachon)らが揚げられる(Fig. 1-1-2)。

一方本年度の調査結果から、複数の既存鉱徴地・旧坑に共通する地質上の特徴が徐々に解明されつつあり、これらから作業仮説を起こし、全体の中からこれにあてはまる地区を選定し、鉱化作用の有無を確かめる現地調査を実施したい。以下に提案される現地調査対象地区と選定の観点を合わせて示す。

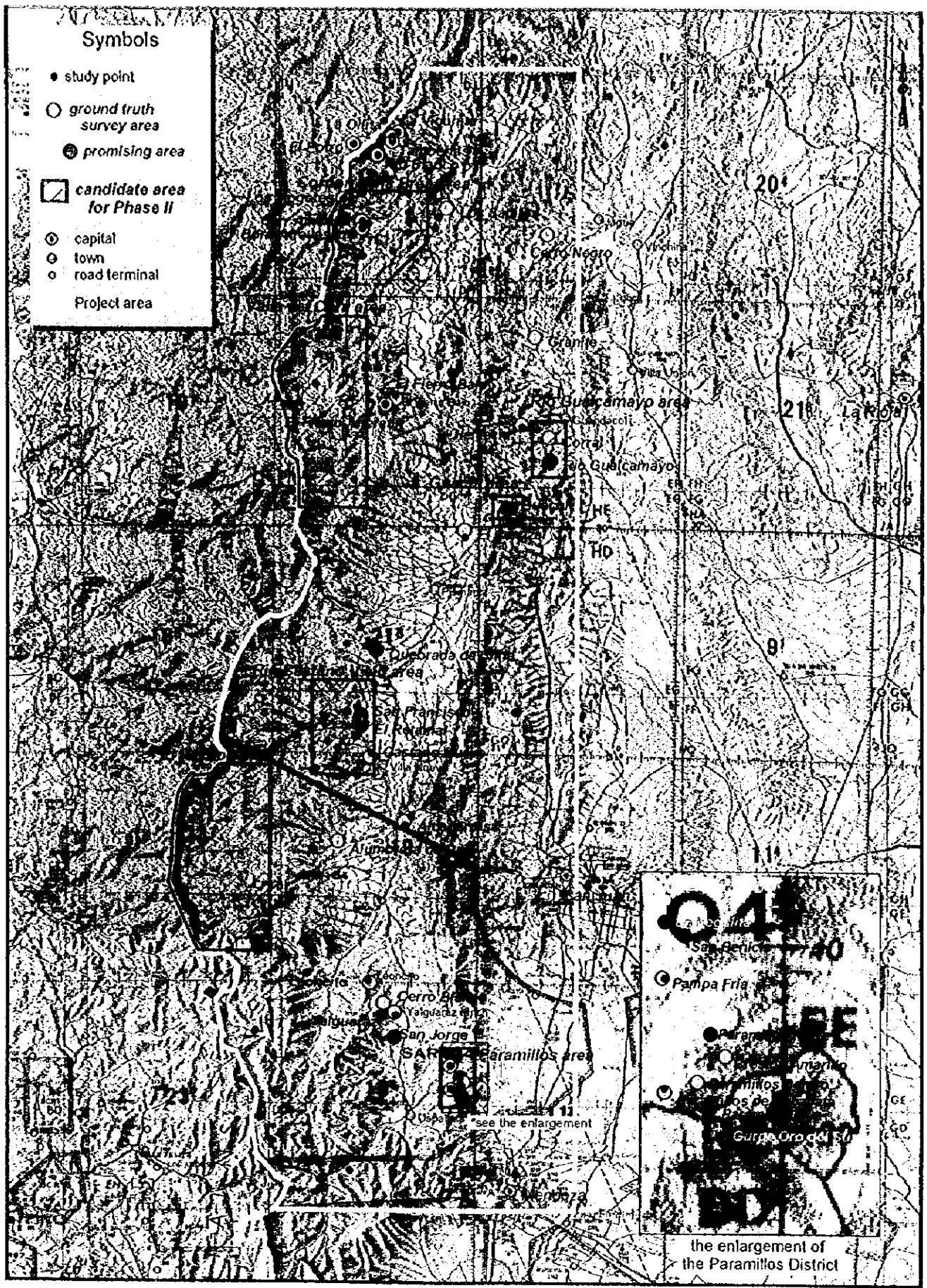


Figure I-1-2 Location of promising areas and survey candidates recommended in the first-stage surveys, Eastern Andean area.



(1) 第三紀貫入岩体の周辺熱水変質

基本的に第三紀貫入岩とみなせる岩体の周辺に変質が生じている地域が重要である。数10km～100km程度のオーダーでは既存鉱徴はしばしばN-S方位に直線的な分布を呈するため、第三紀貫入岩露頭の同方向の延長部には貫入岩の伏在も十分予想される。この観点から、それぞれの変質帯の評価を考慮すると、El Pachon地区が選定される。アクセスや環境立地を考慮すれば、地域北部の若干国境から内側に入った地域に分布するAA8011, AA8013, AA8014, AA8015らを比較的到達しやすい地区として抽出できる。

(2) 古生代貫入岩体の周辺熱水変質

アルゼンティンに特有の二疊～三疊紀酸性岩体に伴われるポーフィリー鉱床もまた有力な探査対象となる。このような変質帯としては、とくにリニアメントの錯綜の程度が大きいRio Castano Viejo areaのAA7065～AA7069の変質帯が選定される。このうち地域中央部のAA7066, AA7069は最高スコアを得た変質帯であり、有力な現地調査候補地域であると考えられる。

(3) オルドビス紀層序中の第三紀貫入岩

オルドビス紀の層序を母岩として第三紀貫入岩が分布する地域もまた有力な探査対象である。オルドビス系に含まれるオフィオライトを構成する塩基性岩類、石灰岩類は、いずれも熱水に反応し易い性状を有しており、しばしば特に金に富む鉱徴地を形成する(Guachi, Hualiran, Salamancaなど)。このような鉱徴地は金鉱床に関心の薄いPlan Cordillerano調査で見落とされている可能性があり、新規発見の可能性が高い調査対象と考える。具体的には、サンファン州Salamanca鉱床の南部延長上、Helvecia-Salamancaを胚胎するオルドビス系の一列西側のオルドビス系、サンファン州Iglesia南東、Barreal東北東などが調査対象として揚げられる。

以上の現地調査に加えて、より鉱物認識能力の高い人工衛星データの解析についても実施したい。92年打ち上げのJERS-1 OPSセンサー、および98年6月打ち上げ予定のASTERらは2.0～2.4 μ mの近赤外領域のマルチバンド化を実現しており、変質の強弱の判定に加えて特定粘土鉱物の抽出まで可能な潜在能力を有しており、より詳細な変質帯の特徴付けが可能である。特にASTERでは遠赤外領域もマルチバンド化されており、状況によっては珪化変質の程度も合わせて記載可能である。ただしJERS-1 OPSはデータ取得期間が短く、また全体にデータの質にばらつきがあり、東部アンデス地域でどの程度利用できるか検討が必要である。またASTERについては、次年度利用はやや時間的に難しいと考えられる。

1-3 第2年次調査の概要

1-3-1 調査の目的

本調査はアルゼンティン共和国東部アンデス地域を対象として、変質帯リモートセンシング精密解析、グラントルース（現地踏査）を行い、得られた結果を総合的に解析し、効率的に広範囲から鉱床賦存有望地域を抽出することを目的とする。本年度は2年計画の2年目に当たり、2年間の調査結果のまとめも実施した。

1-3-2 調査地域

調査地域は、アンデス山脈東部、南緯28度から33度、西経68度30分からチリ共和国との国境に至る南北に狭長な調査面積およそ77,000km²の範囲である（Fig. 1-1-2, 1-1-3）。地域西南にはアコンカグア山を擁しており、標高3000mを越える急峻な山岳地帯が調査範囲の主体をなしている。地域東端は温暖な低地となり、サン・ファン市、メンドーサ市などの主要都市が位置する。

1-3-3 調査方法

(1) 変質帯リモートセンシング精密解析

平成9年度実施したLandsat画像解析により抽出された変質帯のうち、精密解析を必要とするものを選び、JERS-1のデータを用いて変質帯の分類を試み、鉱床賦存有望地区の抽出に資する。

(2) グラントルース（現地踏査）

平成9年度実施した既存データ解析及び衛星画像解析の結果、並びに本年度実施した変質帯リモートセンシング精密解析の結果を基に、現地の地質状況、変質帯、鉱徴地等の把握を目的に地質調査を実施する。併せて各種サンプルを採取、室内試験に供し、データを解析に用いる。

1-3-4 調査団の編成

(1) 現地調査

a) 日本側

細井 義孝（団長、総括、グラントルース）

財団法人 国際鉱物資源開発協力協会（Japan Mining Engineering
Center for International Cooperation : JMEC）

林 歳彦（グラントルース）財団法人 国際鉱物資源開発協力協会（JMEC）

宮武 修一（グラントルース）財団法人 国際鉱物資源開発協力協会（JMEC）

山本 邦仁（グラントルース）財団法人 国際鉱物資源開発協力協会（JMEC）

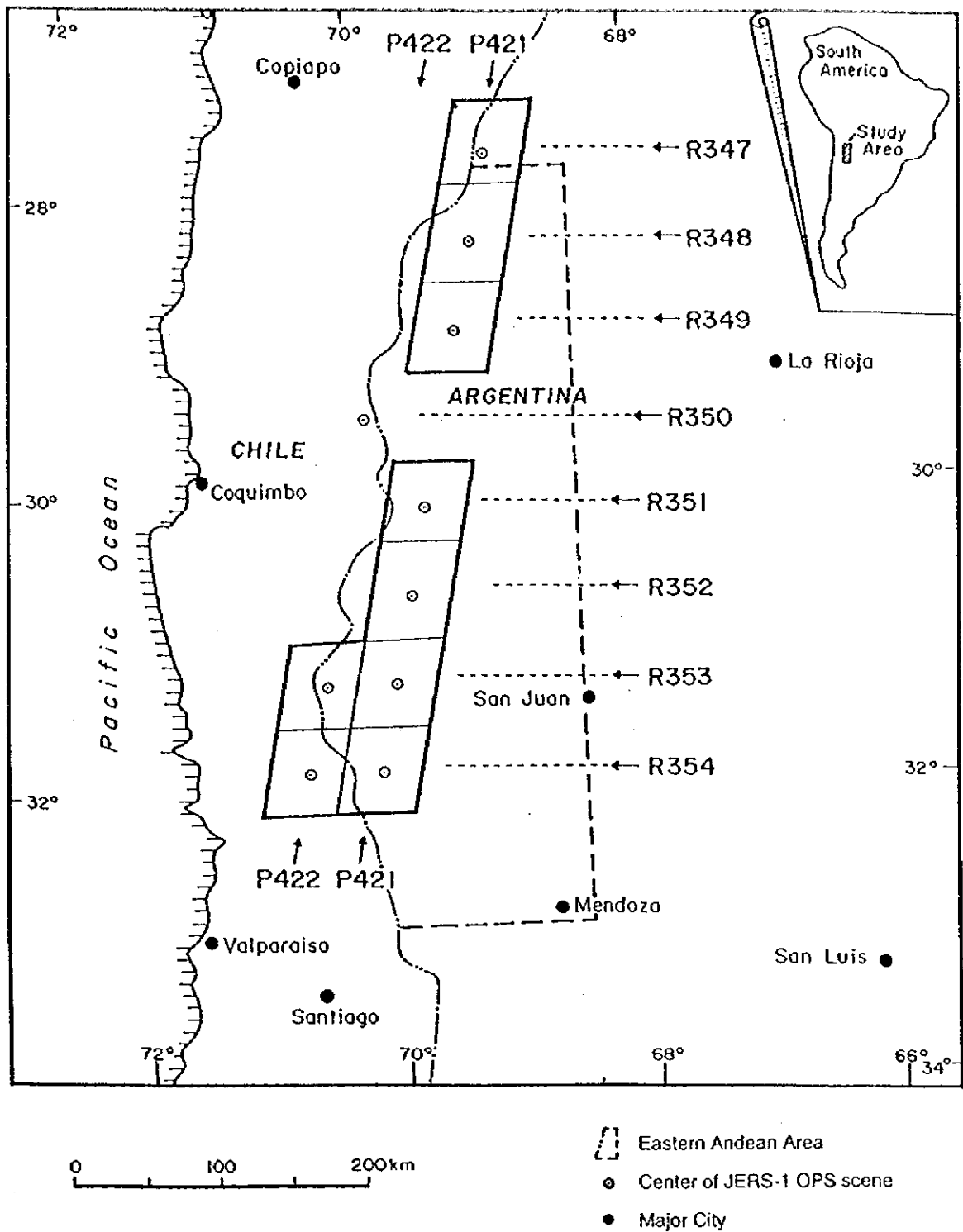


Figure I-1-3 Location map of the survey area.

リモートセンシング技術講習会

大地 正高 (技術講習会講義) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

b) アルゼンティン共和国側

調査協議(ブエノスアイレス)

Lic. Jose E. Mendia

Director Interino del Instituto de Geologia y Recursos
Mineros=IGRM, Servicio Geologico Minero Argentino=SEGEMAR,
Subsecretaria de Minería=SSM, Secretaria de Industria, Comercio y
Mineria, Ministerio de Economia y Obras y Servicios Publicos,
Argentine Republic
(経済公共事業省・商鉱工業庁、鉱業庁 アルゼンティン鉱山地質サービ
ス局 地質・鉱物資源部 部長)

Geol. Eddy Lavandaio

Coordinador Tecnico de Delegaciones Regionales, IGRM, SEGEMAR, SSM
(鉱業庁 アルゼンティン鉱山地質サービス局地方支所技術調整員)

全体調整

Geol. Eddy Lavandaio (総括、調整) 一前出—

ラ・リオハ州調査

Geol. Osvaldo V. Cravero (グランドトルース)

Delegacion La Rioja, SEGEMAR, SSM(鉱業庁 ラリオハ支所)

サンファン州調査

Lic. Raul Cardo (グランドトルース)

Delegacion San Juan, SEGEMAR, SSM(鉱業庁 サンファン支所)

(2) 変質帯リモートセンシング精密解析 (日本国内で実施)

俣野 米治 (データ処理・画像作成) (財)国際鉱物資源開発協力協会

大地 正高 (解析、報告書作成) (財)国際鉱物資源開発協力協会

三箇 智二 (データ処理・画像作成, 解析, 報告書作成)

(財)国際鉱物資源開発協力協会

鎌田 治郎 (データ処理・画像作成) (財)国際鉱物資源開発協力協会

(3) 総合解析・報告書作成 (日本国内で実施)

細井 義孝 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

林 歳彦 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

宮武 修一 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

1-3-5 調査期間および調査量

(1) 現地調査

平成10年(1998年)10月5日(月)～12月11日(金)

グランドトルース

Table I-1-1 Record of the survey

Item	Performance
Ground truth	40 sites
Samples	Rocks/Ores 449 pieces

(2) 変質帯リモートセンシング精密解析

平成10年(1998年)5月21日(木)～平成11年(1999年)1月29日(金)

JERS-1 の9シーンのデータ処理・画像作成・解析.

(3) 室内試験・総合解析・報告書作成

平成10年(1998年)12月14日(月)～平成11年(1999年)3月25日(水)

平成11年(1999年)3月 (結果報告会; 於 アルゼンティン)

Table I-1-2 Laboratory Test (1998 October to December)

Item	Number of performance
Microscopic observation	
Thin sections	84 samples
Polished thin sections	-
Polish	28 samples
X-ray diffraction examination	212 samples
Geochemical analysis	
Ore grade assay (FA+AA+ICP, 22 elements)	14 samples
Trace level geochemistry (FA+ICP, 32 elements)	296 samples
Bulk chemical analysis (XRF)	13 samples
Fluid inclusion (Th & salinity)	44 samples
K-Ar Dating	26 samples
Ratio of Isotope	
$\delta^{34}\text{S}$	3 samples
δD	0 samples
$\delta^{18}\text{O}$	2 samples

Table I-1-3 Laboratory Test (1998 March)

Item	Number of performance
Microscopic observation	
Thin sections	32 samples
Polished thin sections	3
X-ray diffraction examination	77 samples
Geochemical analysis	
Ore grade assay (FA+AA+ICP, 22 elements)	26 samples
Trace level geochemistry (FA+ICP, 32 elements)	63 samples
Bulk chemical analysis (XRF)	5 samples
Fluid inclusion (Th & salinity)	11 samples
K-Ar Dating	5 samples

第2章 調査地域の地理

2-1 位置および交通

調査地域は南緯28度および33度の緯線をそれぞれ北限、南限とし、西はチリとの国境、東は西経68度30分の経線を境界とする南北に狭長な地域である (Fig. 1-2-1)。

調査地域の南東縁にはサンファン (San Juan) およびメンドーサ (Mendoza) の主要都市が位置する。両都市は国道40号線にて連絡され、相互の距離は約150 km、車両にて約1時間40分の行程である。首都ブエノスアイレスからメンドーサへの移動には、毎日運行される多数の定期航空便が利用でき、約1時間30分で至るほか、長距離バスも利用できる (14時間)。サンファンおよび調査地域外の北東部に位置する州都ラ・リオハ (La Rioja) にもブエノスアイレスからの航空定期便が毎日2便以上運行する。サンファン、ラ・リオハ間の移動は、サンファンから国道141号、27号線を利用して、約470 km、車両にて6時間を要する。このような主要都市間の国道は全て2車線の舗装道路である。

主要都市からアンデス山間部の鉱徴地に至る主要ルートは地域内に4本ある。最も南の国道7号線はメンドーサからウスバジャータ (Uspallata) 部落を経てチリ共和国の首都サンチアゴに至る。この道路は完全舗装で冬季も利用でき、メンドーサからサンチアゴまで約4時間で至る。また、この道路の北部、サンファンからカリングスタ (国道12号)、バレアル部落 (Barreal) を経て国境地帯のロス・ペランブレス (Los Pelambres) 鉱床、エル・パチョン (El Pachon) 鉱床に至るルートも調査上の主要道路である。この道路は未舗装で、通行は夏期の限られた期間しか利用できない。バレアルからエル・パチョンまでは約6時間を要する。さらにこの北部には、サンファンの北約150 kmに位置するサンホセ・デ・ハチャル部落 (San Jose de Jachal) からロデオ部落 (Rodeo)、ピスマンタ集落 (Pismanta) を経て金鉱床の探鉱プロジェクトが多いヴァジェ・デル・クラ (Valle del Cura) 谷へ至る道路が位置する。またラ・リオハ州西南部の鉱徴地に至るには、さらに北部のルートを使用することが適当で、同州のヴィジャ・ウニオン (Villa Union) からハウエ (Jague)、プラバ湖 (Laguna Brava) を経てコルダ・デ・ラ・ブレア (Corda de la Brea) 鉱徴地に至る道路が特に探鉱上重要な道路となる。以上の2本の山岳道路は降雪の関係で夏期のみ通行可能である。

なお、調査地域西部に分布する主要鉱徴地へのアクセスにあたっては四輪駆動車が不可欠である。山間部に至る道路のほとんどの部分は未舗装であり、保守も限られているため、状態はさほど良くない場合が多い。また鉱徴地に至るには支線を利用するが、しばしば簡易道路の通行や、沢越え、雪道の通行が発生するため、クリアランスの比較的大きい四輪駆動車を最低2台準備することが望ましい。本地域の場合、探鉱道路は調査を始める初夏 (11月~12月) に年に一度の補修が行われている場合が多く、調査期間を決定する上で十分考慮されたい。

0

0

0

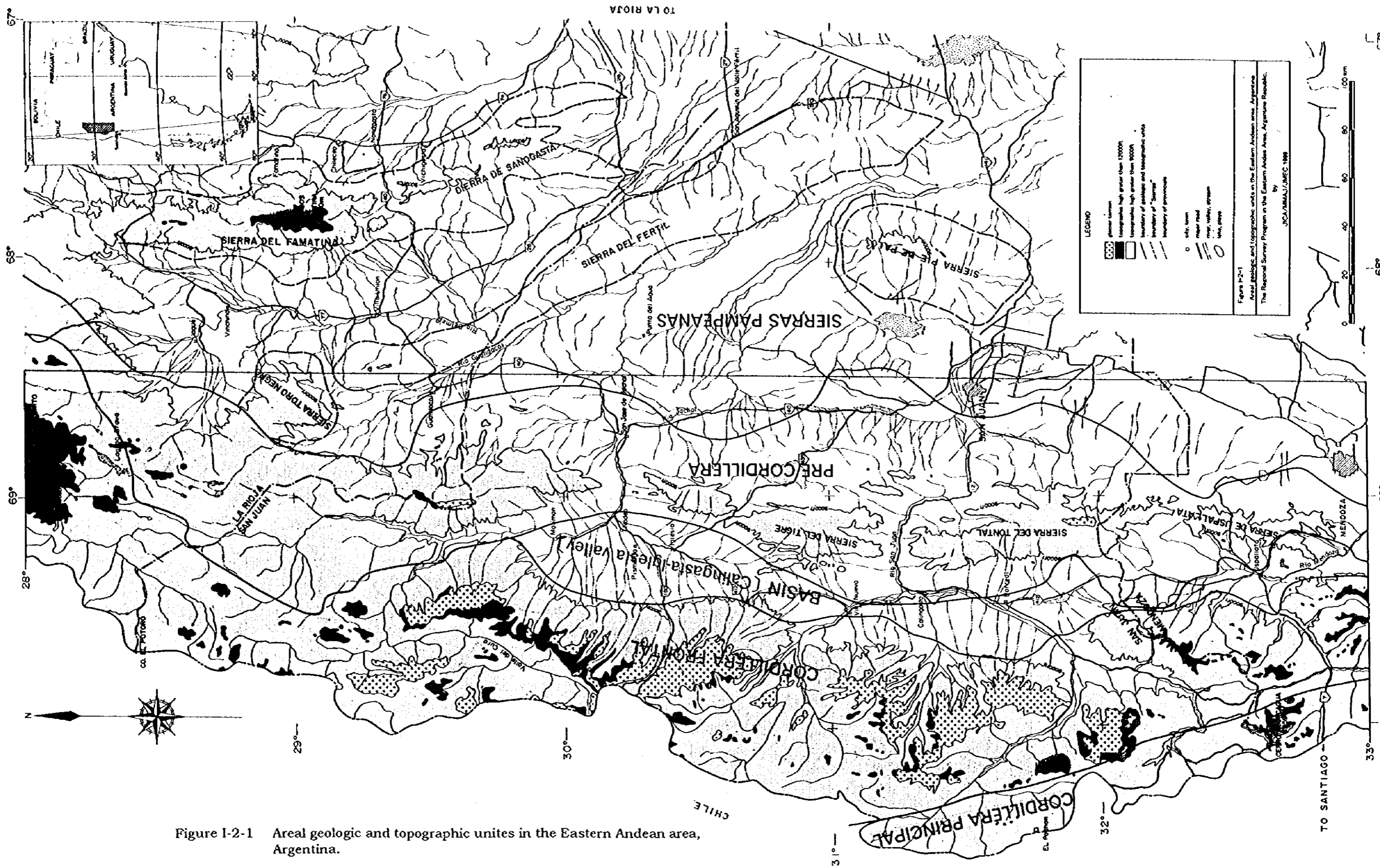


Figure 1-2-1 Areal geologic and topographic unites in the Eastern Andean area, Argentina.

また、アルゼンティン側の問題としては、今後民間の探鉱を促進するためにはアクセス道路の整備が大切であることを指摘したい。

2-2 地形および水系

調査地域の地形は大きく分けて、西側より標高3000~7000mのアンデス山脈脊梁部(cordillera Principal および cordillera Frontal), 標高1500~2000m程度の山間盆地(Basin), また標高3000~4000m程度のプレ・コルディレラ(Pre-cordillera)地域, 標高500~600mの平坦なパンペアン・レンジ(Pampean Range, Sierras Pampeanas)の4種に分類できる。「アンデス脊梁部」は山岳地帯であり, 本調査地域のおよそ西半分に相当する広い範囲を占める。この地域の標高はおおよそ南部のアコンカグア山(6959m)に向かい上昇し, これに連れて地形は次第に急峻になる。標高およそ4000m以上の地域ではモレーン地形が遍在し, 5000mを超える部分にはしばしば氷河が発達する。開析の程度は, 南部に比較して地域北部で大きく, ラ・リオハ州のチリ国境付近の山系は四輪駆動車にて縦横に走破できる程度になだらかとなる。

「山間盆地」はサンファン州ロデオ北方を北限としメンドーサ州ウスパジャータまでの南北およそ300km, 東西およそ50kmの幅で分布しており, ラ・リオハ州には認められない。この部分は新第三系~第四系の新しい陸成堆積岩により地形低所が埋没された堆積盆に相当する。山間盆地の東部には「プレ・コルディレラ」構造ブロックの主要部が分布する。古期堆積岩類を主体とするブロックは全体に急峻な地形を呈しており, 特に酸性深成岩類や石灰岩類は塊状・ドーム状の切り立った山体を形成する傾向がある。この東部に広がる「パンペアン・レンジ」は第四系からなる平坦地と北西-南東方位に伸長する先カンブリア系からなる山地の組み合わせで特徴づけられる。

サンファン州にみられる水系の場合, アンデス脊梁部で蓄えられた地表水はいったん山間盆地に流入し, ロデオ部落付近, およびカリングスタ(Calingasta)部落付近の2カ所に収束する。両者はそれぞれハチャル川(Rio Jacha), サンファン川(Rio San Juan)としてまとめ, Pre-cordilleraの地形低所を東西にうがちながら, Panpean Rangeに流入する。Panpean Rangeの水理勾配は極めて小さいため, 両河川はこの先ほうき状に枝分かれし, 分布を追うことは困難になる。一方, ラ・リオハ州の場合, 山間盆地の分布を欠くためアンデス脊梁部およびPre-Cordilleraの地表水は直接Panpean Rangeに流入する。地表水はいったんハウエ部落(Jague), およびグアングアコル部落(Guandacol)の2カ所に収束し, それぞれベルメホ川(Rio Belmejo), グアングアコル川(Rio Guandacol)として先カンブリア系レンジに沿って南南東に流出する。メンドーサ州の本調査範囲には水量豊富なメンドーサ川(Rio Mendoza)が分布する。アコンカグア山系南部, 東部の水系はメンドーサ川に収束し, ウスパジャータ集落(Uspallata), ポトレリーヨス(Potrerillos)集落を経て, 調査範囲の外, メンドーサ市南部に向かって流出する。調査地域内には, このような水量豊富な河川以外にも, 本地域の乾燥気候を反映して, 多数のプラヤ(playa)が発達する。

2-3 気候および植生

調査地域の気候は地域により極めて大きな差がある。アンデス脊梁部の気候は、厳寒、多量の積雪、強風を伴う極めて厳しい冬に特徴づけられる。一方、Pre-cordillera地域およびPampean Rangeは年間降水量が200mm以下の乾燥気候に属し、降水のほとんどは夏の雷雨に依存している (Fig. I-2-2)。

このような高山気候・乾燥気候を反映して、全体に植生は極めてまばらである。衛星画像上でも一部の河川の周辺と都市部の灌漑域をのぞけば、まとまった植生分布は認められない。

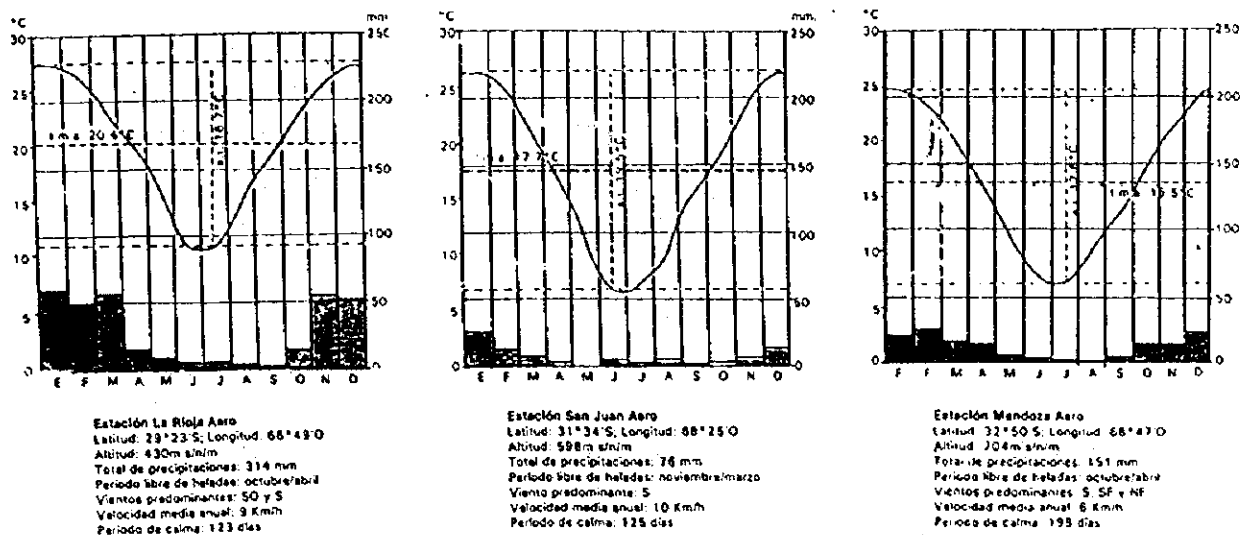


Figure I-2-2 Climatological fact in the city of La Rioja, San Juan, and Mendoza. (after National Mining Secretariat, 1994)

第3章 調査地域の地質・鉱床

3-1 地質および造構史

本調査地域の地質概要図作成にあたってはSEGEMAR発行のLa Rioja, San Juan, Mendozaの各州別 1:500,000地質図を参照しコンパイルを行った (Fig. 1-3-1)。また地質各説および造構史の編集にあたっては、同州別地質図のほか、Zappetini (1996)、Ramos (1994)、Astini et al. (1995)、およびDavidson and Mpodozis (1991) による地質解釈を参照した。

(1) 先カンブリア紀

地質

調査地域周辺の先カンブリア系はおよそ東経68度以東に産し、その分布域は Sierras Pampeanas と呼ばれる構造单元に一致する (Fig. 1-2-1, 1-3-1)。東部アンデス地域周辺に認められる先カンブリア系は Proterozoic に属し、花崗岩質片麻岩、ペグマタイトを主体とし、超苦鉄質岩、石灰岩、結晶質石灰岩らを伴うモザイクとして産する。先カンブリア系の露頭地域は、調査地域を越えて東方の Sierra Piede de Palo, Sierra de Fertile などにみられ、やや南北に伸長する山体を形成する。

先カンブリア紀に生成した金属鉱床は東部アンデス地域では知られていない。

造構環境

この構造单元は Gondwana 大陸の一部に相当し、カンブリア紀以降の異地性岩体の衝突・付加はこの構造单元を核として生じたと考えられている。

(2) カンブリア紀～デボン紀

地質

先カンブリア系 (Sierra de Pampeanas) の西側には下部古生層を主体とする Pre-Cordillera と呼ばれる構造单元が分布する (Fig. 1-2-1)。この構造单元は、幅約 100 km、南北約 600 km の狭長な分布を呈し、ラリオハ州 Jague 西方を北端とし、メンドーサ市周辺に至る地域に相当する。この Pre-Cordillera 地域は本調査範囲のおよそ東半分に対応し、多数の鉱床・鉱徴地の胎母岩となる。下部古生界は下位より、下部カンブリア紀赤色泥岩薄層、下部～中部オルドビス紀石灰岩および石灰質堆積岩類、中部オルドビス紀砂岩泥岩互層、シルル～デボン系浅海性砂岩泥岩互層から主に構成されるとする (Astini et al., 1995)。このうちカンブリア紀およびオルドビス紀のこのような起源的層序は、その後の Pre-Cordillera の Gondwana への衝突・付加の際、著しい変形を被り、オフィオライトブロックを伴う構造帯を構成する地質へと変遷した。一方、シルル～デボン系は衝突後の堆積でありこの時期の変形は被っていない。特に探査上注目されるのはオルドビス紀

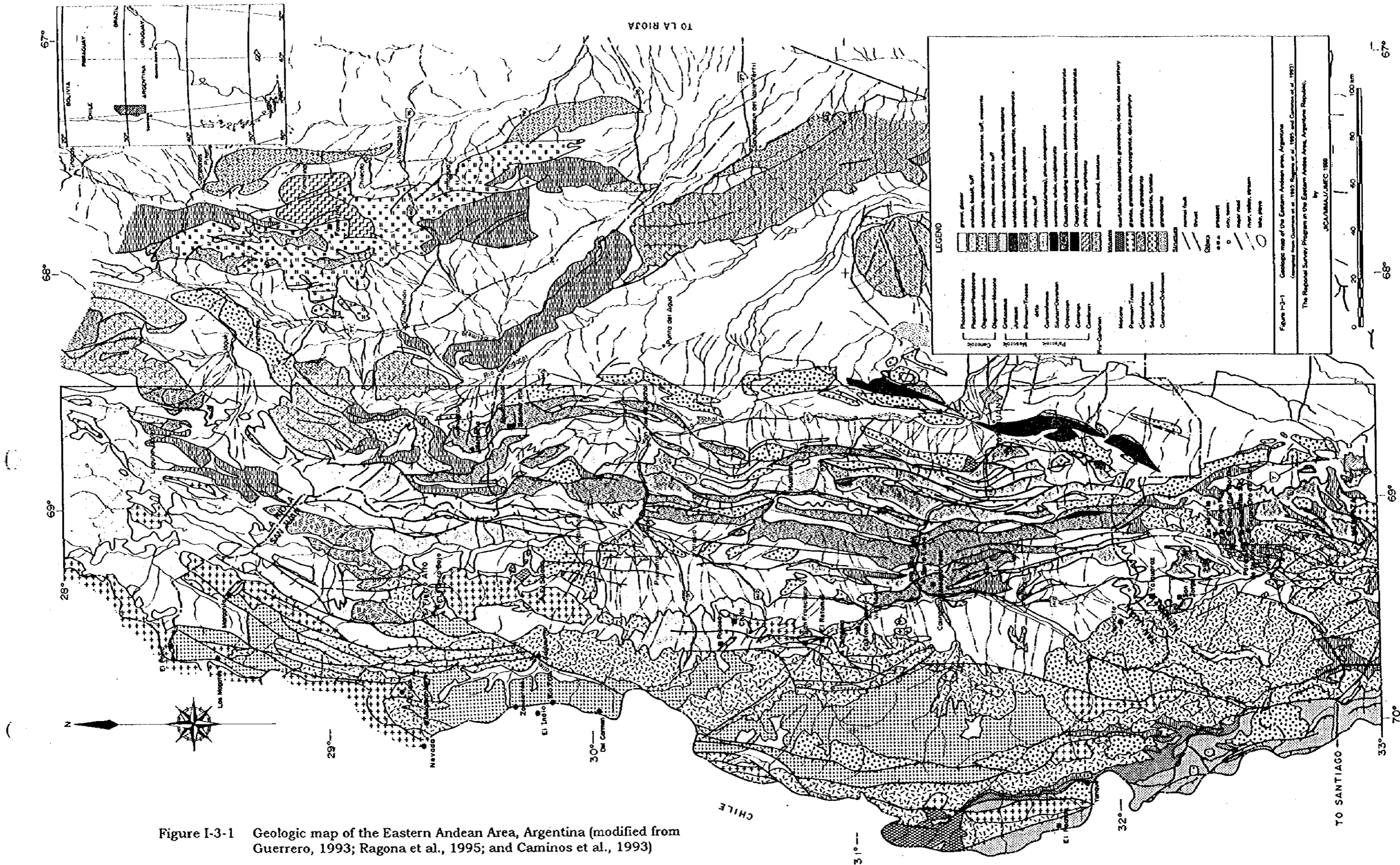


Figure I-3-1 Geologic map of the Eastern Andean Area, Argentina (modified from Guerrero, 1993; Ragona et al., 1995; and Caminos et al., 1993)

の層序であり、ここに含まれるオフィオライトならびに石灰岩類はその熱水に反応し易い性状、および深部に達する断裂帯の存在を反映して、多数の小規模鉱床の”器”の役目を果たしている。調査地域内の Hualilan (Au, Ag), Guachi (Au, Ag) らはオルドビス系に貫入する第三紀火成岩に伴い生成した鉱床の例であり、また Helvecia (Pb, Zn) はオルドビス紀石灰岩に胚胎される Mississippi Valley タイプの鉱床である。

造構環境

Pre-cordillera の成因について、下部古生代に Gondwana 大陸に付加した異地性岩体であるとの説が近年提唱されている (Ramos et al., 1986 など)。この根拠として、(1) アルゼンティン西部にこの地域以外に Pre-cordillera 類似の層序が認められないこと、(2) Sierras Pampeanas との境界部にメランジェ帯が発達すること、(3) Sierras Pampeanas の内陸部である Famatina 山地に下部オルドビス紀の火成活動が認められること、(4) Pre-cordillera に分布する岩石の留める古地磁気と Gondwana の大局的古地磁気方位にはずれがあることが揚げられている (Astini et al., 1995)。Pre-cordillera 生成当初の位置をめぐっては、研究者間で議論があるが、最近の層序および産出化石の対比から、Laurentian (北米アパラチア山脈) が有力な起源と考えられており、前期カンブリア紀頃、分離・南下が始まったとされている (Astini et al., 1995)。

Laurentia から分離後、漂流する Pre-cordillera ブロックにはこの頃進行した海面上昇の影響もあり、周辺に厚い石灰岩層が形成された (San Juan 層)。一方、Sierras Pampeanas 地域では、Pre-cordillera が位置する海洋スラブの沈み込みのため、島弧-沿海システムが形成され始める。前期オルドビス紀までこの島弧-沿海システムは成熟を重ね、この結果、顕著な火山島弧が Famatina レンジに形成された (Astini et al., 1995)。

南進する Pre-cordillera が Sierras Pampeanas 地域に衝突・付加した時期は中期オルドビス紀と見積もられている (Astini et al., 1995)。衝突の早期に Famatina 背弧海盆は閉じ、顕著なしゅう曲および衝上断層帯の形成を伴いながら Famatina 地域の隆起が生じた。

その後のシルル紀、デボン紀は衝突により蓄積された歪みの解放期に相当する。Pre-cordillera 東縁に現出したベースンは、歪みの解放に伴って徐々に深度を増し、当時の海進とあいまって、浅海性堆積物の流入が進んだと考えられている。デボン紀には沈降帯への堆積物の流入速度が増し、急速に堆積層は層厚を増す。この結果、デボン紀末期には沈降帯は極めて浅い堆積盆へと変遷した (Astini et al., 1995)。

(3) 石炭紀~三疊紀

地質

調査地域の石炭系から三疊系は、浅海、半遠洋 (hemipelagic)、および陸源の堆積岩層と、主として二疊紀から三疊紀にかけて生成した酸性火山岩類および酸性深成岩類からなる。

調査地域の石炭紀の堆積岩類について、地域東方および西方に南北に狭長な2列の帯状分布域が認められる (Fig. 1-3-1)。東側の列は下部石炭系のVolcan層などに相当し、地域中央北部のVilla Union周辺からSan Jose de Jachalの間にまとまった分布がみられる。この堆積岩類は砂岩を主体とし、礫岩、泥岩、石灰岩らを挟在する。これより南部のSan Juan西方付近から南では、より狭長に分布し、後のAndean Orogenyに伴う衝上断層の東縁にそって繰り返り現れる。一方、西側の列は上部石炭紀～下部二畳紀のAgua Negra層に相当し、Jague西方からCalingastaまで比較的連続性よく分布する。この地層は砂岩、泥岩を主体とし、石灰岩を伴う。

二畳～三畳系(Choiyoi group)は石炭系を不整合に覆って、Agua Negra層の西側からチリ国境付近にかけて、調査地域のおよそ西半分に広範に分布する。Choiyoi groupは主として流紋岩、流紋岩質火砕岩、および同様の組成の浅部貫入の深成岩体から構成されており、火山岩類の層厚は2000m程度と見積もられる。この上位には砂岩、泥岩、礫岩からなるフリッシュ堆積物が累重するが、分布は小規模である。Rio Castano周辺の場合、最下部層として安山岩質溶岩・火砕岩の互層(Castano層)が分布しており、この上位に流紋岩質火砕岩・溶岩が累重する。このような火成岩類の分布域では、部分的にはカルデラ構造が残存する。

調査地域には上部石炭紀～三畳紀にかけて生成した花崗岩ないし花崗閃緑岩が大量に分布する。最もまとまった分布はサンファン州El Fierro鉱徴地周辺からTocotaに至る範囲に位置する「Colanguilバソリス」にみられる。Colanguilバソリスの生成年代を検討・総括したSato et al. (1990)は、生成年代値はバイモーダルで上部石炭紀と二畳～三畳紀の2種があること、このうち二畳～三畳紀の活動がより活発であること、Choiyoi groupはこの二畳～三畳紀の噴出岩相であることを報告する (Fig. 1-3-2, Table 1-3-1)。

調査地域にはこの時期の貫入岩に伴って生成した金属鉱床が知られており、San Juan州Calingasta北西のTocota地域には花崗岩類に伴って、ビスマス-銅-タングステン-砒素の鉱徴が分布する。またCalingasta東部のAlcaparossa (263-271Ma)、およびSan Juan州Uspallata北西のSan Jorge (266-274Ma)らのポーフィリー銅鉱床の生成年代もこの活動期に一致する (Sillitoe, 1977)。

造構環境

石炭紀から三畳紀の間、本調査地域は Gondwana 超大陸の付加帯中に発達した火山弧の一部をなしていた (Fig. 1-3-3)。Choiyoi group 火成岩類の活動期は Gondwana 超大陸の分離前と考えられており、石炭紀からジュラ紀の間に形成された酸性岩類は、東部アンデス地域以外にも、パタゴニア、南アフリカの南端、南極大陸南縁、およびオーストラリアの東縁に分布が認められる。

下部石炭紀頃の火山弧は、南緯27度から45度の範囲に先カンブリア系および下部古生界上に存在した。当時この火山弧前縁には付加体プリズムが形成され、海洋底の断片を

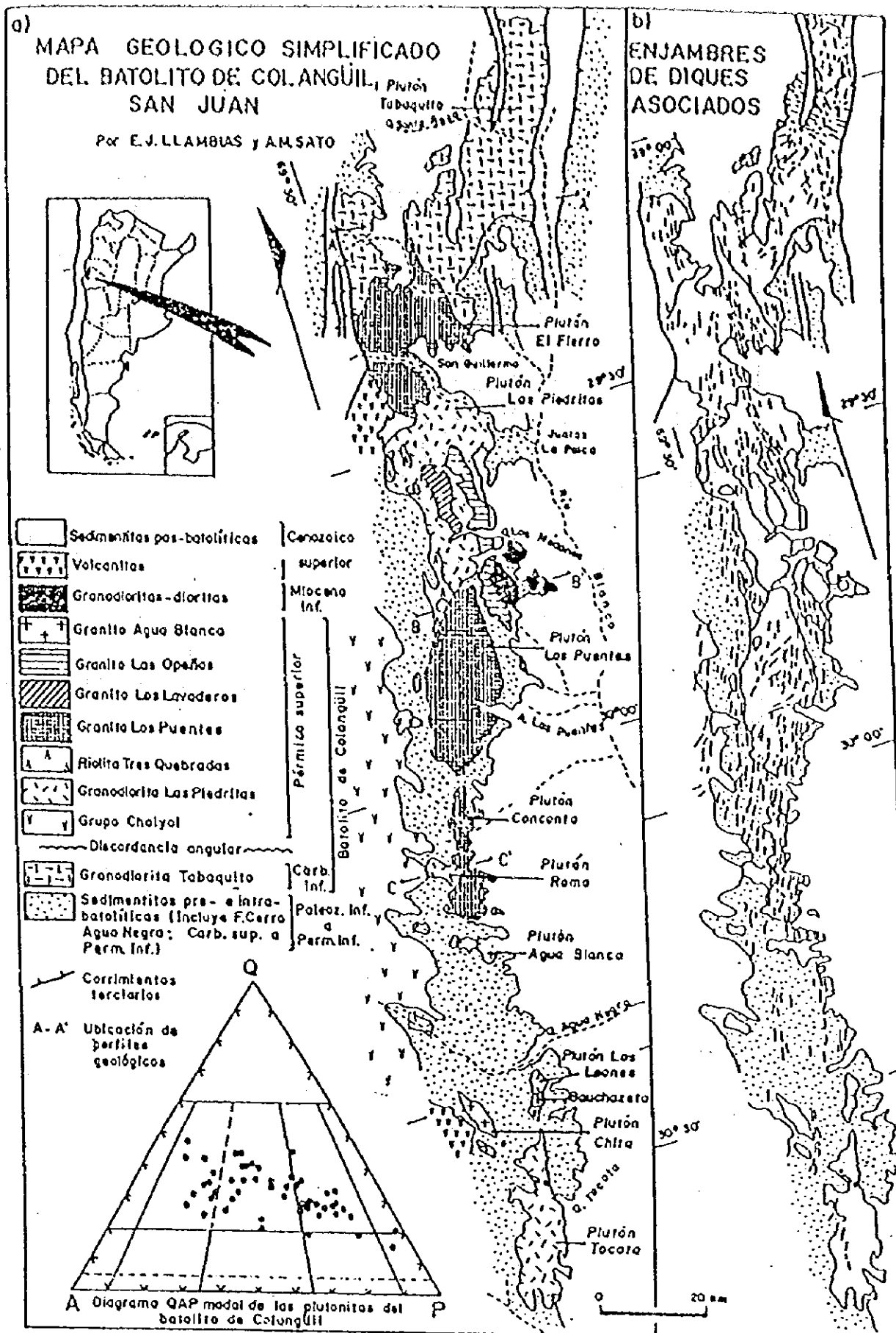
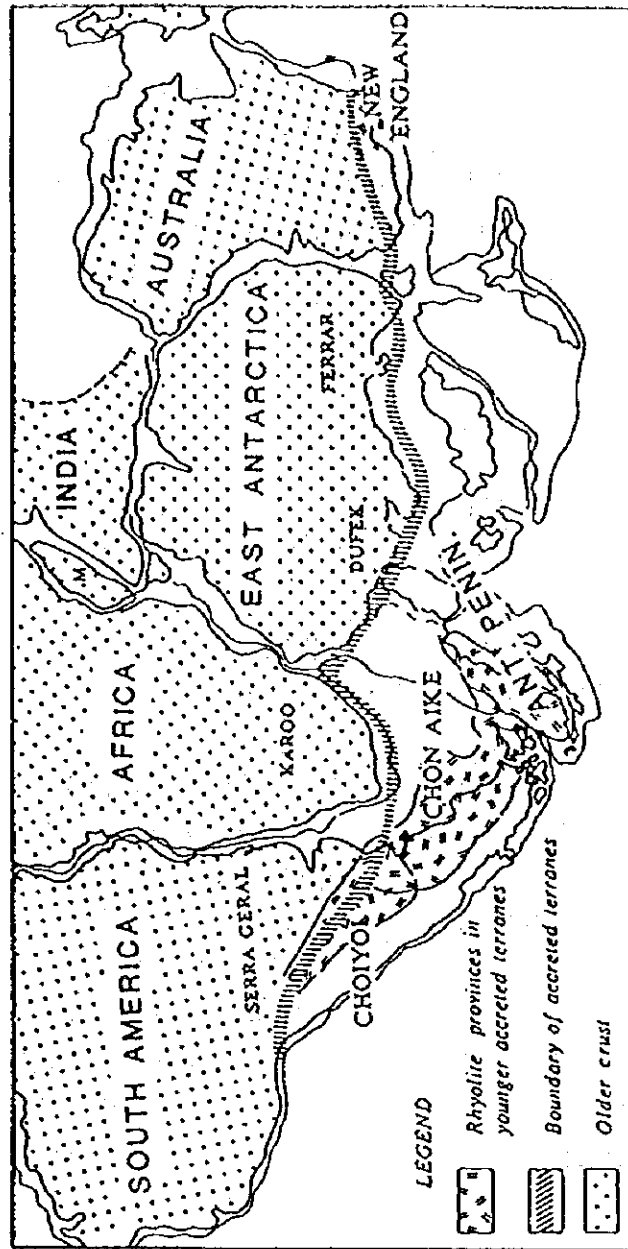


Figure I-3-2 Geologic map of the Colanguil Batholith, QAP diagram, and direction of dikes. (after Sato et al., 1990)

Table I-3-1 Results of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dating of Colanguil Batholith, and occurrence of dikes associated. (after Sato et al., 1990)

UNIDAD	PLUTONES	TAMAÑO km ²	AREA %	Relación axial	EDAD Ma	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Inicial	DIQUES silíceos >> máficos
GRANITO AGUA BLANCA	Chita	22	0.8		247 ± 15 [*]	0,7045 ± 0,031	Escasos diques cónicos y longitudinales
	Agua Blanca	24	0.9				
GRANITO LAS OPEÑAS	Un solo plutón	102	3.9	8.5	254-258 [*]	0,7099-0,7130	escasos diques longitudinales
GRANITO LOS LAVADEROS	Un solo plutón	39	1.5	3.5	259 ± 2 [*]	0,7072 ± 0,0005	Escasos diques longitudinales
GRANITO LOS PUENTES	El Fierro	413	15.7	1.6	256-257 [*]	0,7077-0,7092	Enjambres de diques longitudinales
	Los Puentes	330	12.6	2.3	257	0,7077	
	Conconta	96	3.7				
RIOLITA TRES QUEBRADAS	cuerpos subvolcánicos	7	0.3				Enjambre de diques longitudinales
GRANODIORITA LAS PIEDRITAS	Las Piedritas	472	18.0		260-263 [*]	0,7062-0,7064	?
	Romo	18	0.7	3.2	264 [*]	0,7060	?
	Tocota	192	7.3		267-269 [*]	0,7052-0,7059	?
	Los Leones	12	0.5	1.3	268-272 [*]	0,7041-0,7048	?
GRANODIORITA TABAQUITO	Tabaquito	896	34.2	1.5	326-329 [*]	0,7052-0,7065	Diques radiales andesíticos

: Sato y Kawashita (1988), isocrona roca total; ^{}: Roca total-biotita; ^{*}: Isocrona roca total



Map of southern Gondwana, modified from Lawver and Scotese (1987), showing Gondwana granite-rhyolite provinces. Boundary of accreted terranes separates old cratonic Gondwana from younger accreted terranes. Named areas north of boundary are regions of Jurassic and Cretaceous basalts (see Dalziel et al., 1987).

Figure I-3-3 Map of southern Gondwana granite-rhyolite provinces. (after Kay et al., 1989, Fig. 1)

混在する深海性のタービダイトが堆積した。その後、上部石炭紀頃には酸性火成活動が本格化し、チリ～アルゼンティンのアンデス脊梁地域に分布するカルクアアルカリ質の花崗岩類が形成された。

この後、二畳紀から三畳紀にかけて、マリアナ型（低角沈み込みかつ低ストレス）の海洋スラブの沈み込みに伴って、再び火山活動が活発化し、石炭紀の火山弧に重複して新しい火山弧が生じた。この結果、石炭紀の火山岩類を切って多数の酸性深成岩体が浅所まで貫入したほか、広範な火山岩類が噴出した（Choiyoi group）。この頃の火成活動は顕著な伸長テクトニクス下で進行したもので、二畳～三畳紀火成岩類の岩石学的特徴もこれを支持する（Kay et al., 1990）。

（4）ジュラ紀～第三紀

地質

東部アンデス地域に分布する本時代の地質は、ジュラ紀～白亜紀の砂岩・礫岩層、暁新世（Paleocene）～中期中新世（Middle Miocene）の火山岩類・深成岩類、後期鮮新世以後の砂岩・礫岩類からなる。

ジュラ系はアレナイト質砂岩、石灰岩、泥岩、蒸発岩、および礫岩からなり、調査地域西端のEl Pachon鉱床北西を北限として、Principal cordillera中に幅約10 km以下の狭長な範囲に分布する（Fig. 1-3-1）。

白亜系はジュラ系とほぼ同様の岩相を呈し、ジュラ系分布域の西部に分布する。白亜系は、本地域ではサンファン州のEl Pachon鉱床周辺からLas Cuevas部落にかけて極めて限られた分布を呈するに過ぎないが、チリ側では太平洋岸付近に至る広範な分布を呈しており、ポーフイリー貫入岩の主要母岩となっている。

安山岩ないし石英安山岩を主体とする第三紀火山岩および火砕岩のまとまった分布は、サンファン～ラリオハ州境を北限とし、サンファン州 Rio Blancoを南限とする調査地域西部にみられる。第三紀火山岩類は、漸新世（Oligocene）～下部中新世の流紋岩質のDona Ana層とこれを不整合に被覆する下部中新世の安山岩質のTorlolas層に大別され、多くの鉱床・鉱徴・熱水変質の母岩となっている。一方、ポーフイリー岩株などの貫入相の場合、地域西部に比較的多く分布しているものの、Pre-cordilleraおよびFamatinai山地など、かなりの内陸部にも分布が認められ、調査地域全域に散点状に分布することが特徴である。本地域の主要鉱床タイプであるポーフイリー銅鉱床はこの時期の岩株に伴われるものが多く、El Pachon（Cu, Mo）、Yunque（Cu, Au）、Paramillos Sur（Cu, Mo）らを代表例とみなせる。また貫入岩からやや離れた位置に生成する浅熱水性鉱床も産し、Guachi（Au, Ag）、Hualilan（Pb, Zn）らがこれに相当する。内陸の第三紀貫入岩は一般に小規模であることが多い。

以上の地質のほか、主として後期新第三紀に発達した陸成の堆積岩類が広範に地域内に分布する。

造構環境

ジュラ紀から現世に至る期間のアンデス地域は、西方からの一貫した海洋スラブの沈み込みと、これに伴う活発な火成活動および地殻の厚化が生じた地域として特徴づけられる。このダイナミックな変動期はAndean Orogenyと一括して呼ばれており、現在もこの造山期は進行中である。この時期の海洋スラブの沈み込み様式について、細かな変遷が把握されつつあり、重点調査地域を絞り込む上で参考になる。一般に沈み込みの様式は、地下深所でのスラブ溶融位置や陸域の応力場を決定しており、火成活動やその時代の主要構造に大きな影響を与える。従ってこれらに規制される鉱床区の生成を考える上で重要な要素となる。ここでは、造構作用の変遷についてDavidson and Mpodozis(1991)によるアルゼンティン〜チリの発達モデルを簡単に紹介するほか、東部アンデス地域を特徴づけるいわゆるフラットスラブ地域について紹介する。

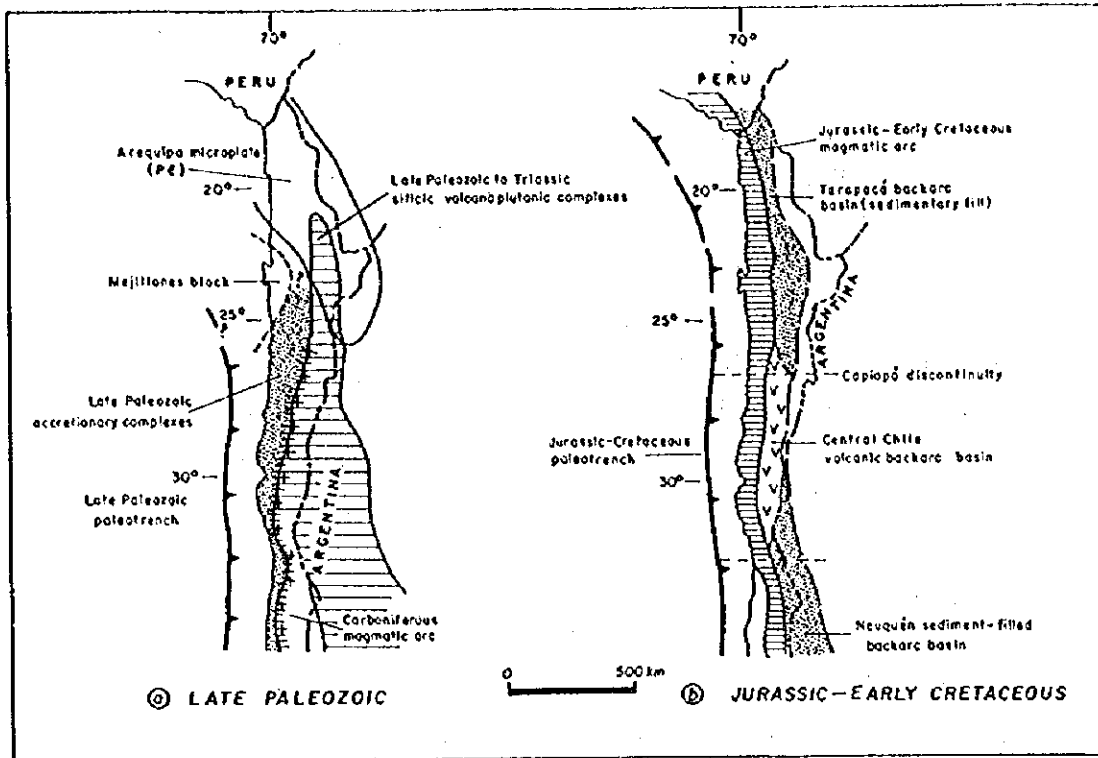
ジュラ紀から下部白亜紀の間、地域西側から沈み込む海洋プレートは高角の沈み込み角度かつlow-stressのマリアナ型の様式を呈しており、これに伴って火山島弧と背弧海盆が生じたと考えられている。このうち火山弧は現在のチリ海岸線付近に形成され、アルゼンティン側にはおよんでいなかった(Fig. 1-3-4b)。一方、背弧海盆(back-arc basin)は現在のチリ東部とアルゼンティンの西端、脊梁地区に発達したと考えられており、浅海堆積物および火砕岩類により埋せつされていった。

白亜紀中期から後期、およそ100~80 Ma頃、大西洋海膨(Mid Atlantic ridge)が出現し、これに伴ってマリアナ型のスラブの沈み込み様式は低角の沈み込み角度かつhigh-stressのチリ型へと転換した。このため背弧海盆は閉じ、東落としの衝上断層を伴って隆起し、チリのAntofagasta東方に分布するDomeyko Proto山脈を形成した(Fig. 1-3-5b)。一方、チリ中央部、南緯32度以南では、火砕岩を主体とする沿海堆積物の隆起・衝上が生じた。この後、変形はIllapel南部に生じた白亜紀後期の火成活動に引き継がれた。

古第三紀暁新世から始新世にかけての時期、およそ70 Maころからプレートの収斂が急速に早まり、年間100 mm以上の収斂速度に至ったと推定されている。この結果、陸域では活発な火山活動が生じ、中小規模のポーフィリー型鉱床のほか、これらのadvanced argillic capである大規模酸性変質帯が多数生成した(Fig. 1-3-5c)。

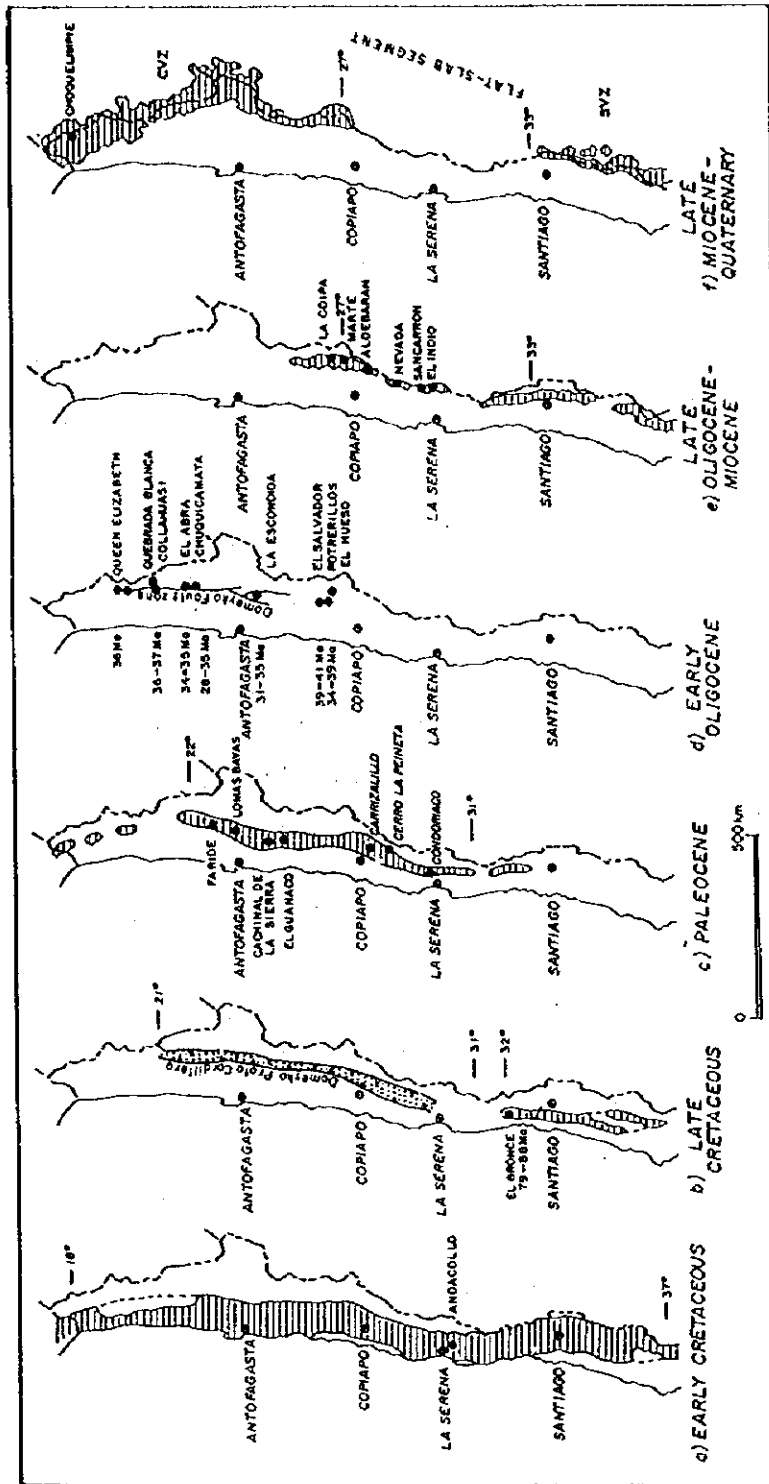
後期始新世から漸新世ころには、海洋プレートの沈み込み方向が陸域に対して斜交するよう変化し、収斂速度も50 mm/year以下と鈍化した。この結果、火山活動は沈静化し、41~31 Maに貫入したポーフィリー岩体を除けば、この時期主要な火成活動は生じなかった(Fig. 1-3-5d)。斜め沈み込みに伴って、陸域には大規模な南北系の走行断層

(Domeyko fault zone)が発達し、この走行断層あるいはその派生断層に沿って多数の浅性貫入岩体は定置した。チリの大規模ポーフィリー銅鉱床はこの時期の岩株に伴われて集中的に生成している(El Abra: 33-34Ma, Chuquicamata: 28-45Ma, Escondida: 31-34Ma, El Salvador: 39-41Ma)。



Simplified paleogeographic sketches showing the main features of the northern Chilean margin during (a) late Paleozoic, and (b) Jurassic-Early Cretaceous. Based on Mpodozis and Ramos (1990).

Figure I-3-4 Simplified paleogeography, Jurassic-Early Cretaceous. (after Davidson and Mpodozis, 1991, Fig. 1)



Mesozoic and Cenozoic magmatic arcs in northern and central Chile. Note the eastward migration, the segmented nature of the different belts, and the associated epithermal and porphyry copper deposits. Radiometric ages taken from Sillitoe (1981) and Camus et al. (1986).

Figure 1-3-5 Mesozoic and Cenozoic magmatic arcs in northern and central Chile, including extremely western part of Argentina. (after Davidson and Mpodozis, Fig. 2)

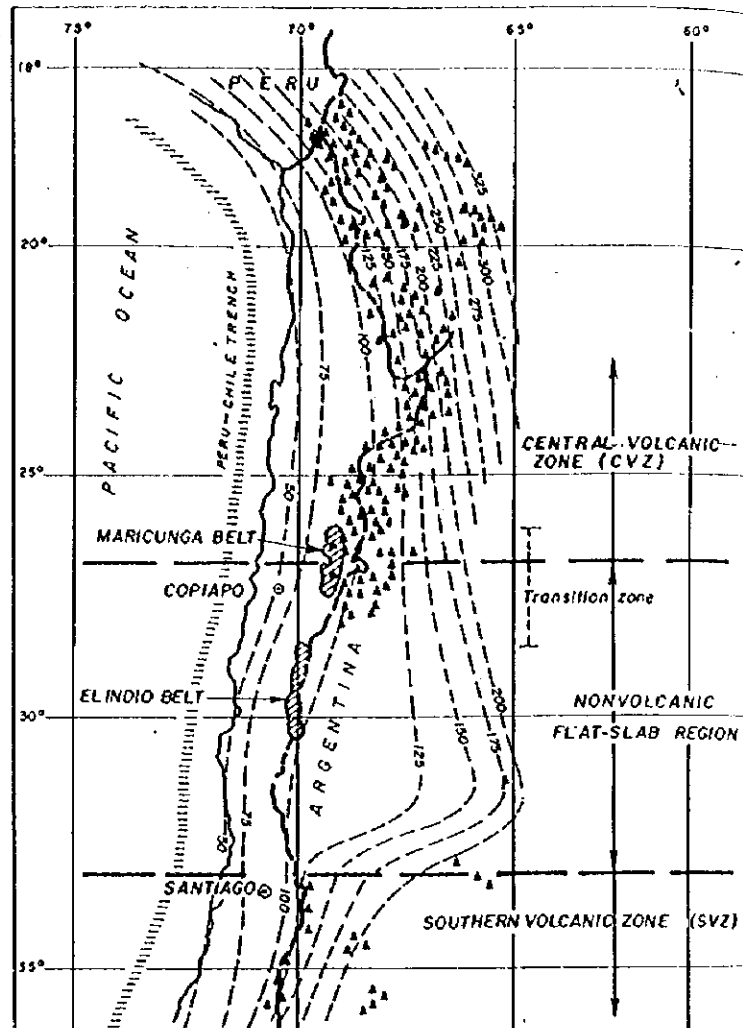
第三紀中期～後期にはプレートの収斂速度は再び早まり (>110 mm/year), 海洋スラブの斜め沈み込みも解消した。これに伴い新たな火山弧がペルーとの国境地帯からチリ南部にわたって形成され, 調査地域北方の Maricunga Belt, および調査地域内サンファン州北西部の El Indio Belt らのポーフイリー鉱床およびその上部変質帯である advanced argillic cap が生成した (Fig. 1-3-5e)。この頃の大陸地殻はさほど厚化が進んでおらず (厚さ約 35 km), 火成岩の R E E 分析結果は, マントル起源のマグマの単純な分化生成物に類似し, さほど大陸地殻の汚染を被っていないことを示す。

その後中新世後期にかけて, チリ型沈み込みに伴う大きな圧縮応力の結果, 大陸地殻は衝上を伴って水平方向に徐々に短縮・高厚化する。18 Ma 頃にはスラブの沈み込みは地域により差別的に進行し始め, 調査地域を含む南緯 27 度から 33 度の範囲では, 沈み込み角度が著しく低角化した。これに伴い "flat slab region" では一時的に東方に向かい火山フロントが拡大したが, 次第に火成活動は沈静化し, 中新世後期にはこの地域の全ての火山活動は終息した (Fig. 1-3-6)。一方, 地殻の高厚化を反映して, この時期の flat slab region に生成した石英閃緑岩, モンゾ閃緑岩, 花崗閃緑岩らは, 高アルカリ, 高 R E E の組成を呈しており, より大きい地殻汚染を被っていることが窺える。アルゼンティンに分布するこの時代の斑岩は, Bajo de la Alumbrela (Au, Cu), El Pachon (Cu, Mo), Paramillos Sur (Cu, Mo), Famatina (Au, Cu) など本調査地域内外の主要ポーフイリー型鉱床を伴っており, 探査の観点から極めて注目される。

flat slab region の探査ポテンシャルを考慮した場合, この範囲で後期中新世以降火山活動が休止したため, 中新世までに生成した鉱床がその後の火山岩類の被覆を免れて残存していること, また現在までの削剥レベルが適度であることから, 多数の探査対象が露出していると考えられている (Davidson and Mpodozis, 1991)。一方, これより北, 南緯 27 度より北の地域 (Central Volcanic Zone, Fig. 1-3-6) では, 鮮新世までの鉱化帯が広範に現世の火山岩類により被覆されており, 温泉型金鉱床など地表付近で生成する一部の鉱床タイプを除けば, 探鉱ポテンシャルは flat slab region に比べ低いとみなされる。また 33 度以南の地域 (Southern Volcanic Zone, Fig. 1-3-6) では, 氷河の発達など浸食速度が大きく, 鮮新世までの鉱化帯はすでに残存しない可能性が高いことが指摘されている (Davidson and Mpodozis, 1991)。

16 Ma から 10 Ma の中期鮮新世の間も, 引き続きスラブの低角化と地殻の高厚化は進行した。この結果, この時期生じた角閃石安山岩やデイサイトは地殻の寄与が更に大きい組成を示し, 厚さ 50 km 以上におよぶ地殻が推定されている。

第三紀以降の陸成堆積岩類は調査地域内の東西を問わず産する (Fig. 1-3-1)。これら堆積岩類の堆積時期は, 西方から東方に向かって若年化する傾向が報告されている (Ramos, 1994)。アンデス造山による東西性の圧縮応力の結果, 地質は西側から衝上による累重と地殻の高厚化が進み, 東に向かって衝上やしゅう曲を伴う隆起の中心が順次移動した。これに伴い, 隆起地帯に付随する前縁堆積盆も東方に向かって移動したと考えられている。



Map of the Andes of Chile and Argentina (22°–37° S) showing the distribution of late Cenozoic volcanic centers (triangles) with respect to the modern seismic zone and the location of the El Indio and Maricunga precious metals belts within the modern flat slab nonvolcanic region. Depth contours (in km) to the Benioff zone and volcanic centers taken from Cahill (1990), and the volcanic centers from Servicio Nacional de Geología y Minería (1982).

Figure I-3-6 Distribution of late Cenozoic volcanic centers with respect to the modern seismic zone. (after Davidson and Mpodozis, 1991)

調査地域南部の東西断面を考えた場合、アンデス脊梁部で20--10 Ma, Uspallata Valley で10--5 Ma, またメンドーサ市周辺の Pampean range で2 Maの堆積年代がそれぞれ推定されている (Ramos, 1994) .

3-2 鉱床概要

本調査地域に分布する主要な鉱床タイプは、浅所貫入マグマに密接に付随するポーフイリー型銅鉱床 (porphyry copper deposit), マグマからやや離れて生じた熱水系にて生成する浅熱水性金鉱床 (epithermal gold deposit), 鉱脈型鉛・亜鉛鉱床 (lead zinc vein deposit) である。このほか、マグマとの成因的關係が比較的薄いと考えられる Mississippi Valley 型鉱床も一部に分布する。調査地域には現在稼行されている鉱山は無く、以下に示される全ての鉱床・鉱微地は全て評価中の鉱床、探鉱中、ないし探鉱計画中のプロジェクト、あるいは旧坑の名称である (Fig. I-3-1)。

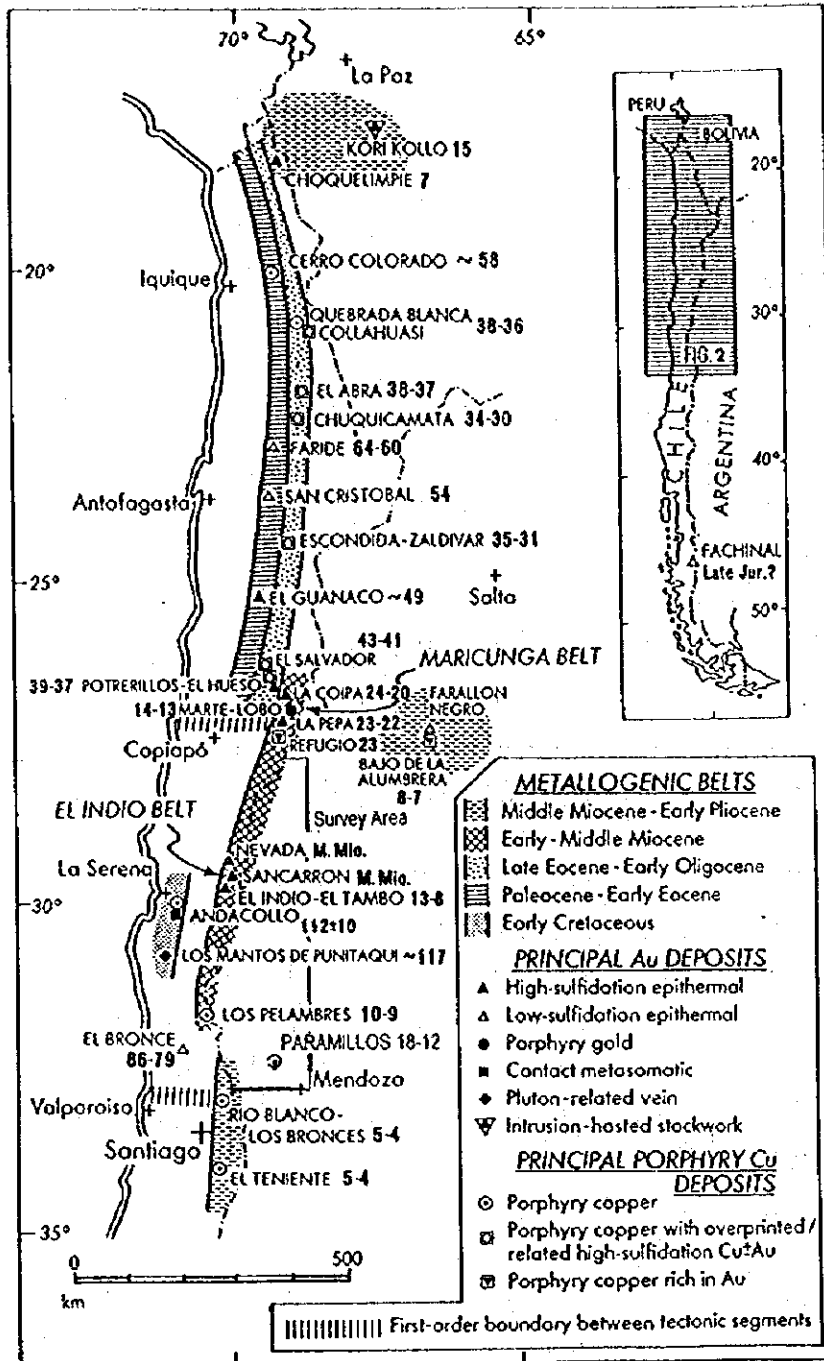
(1) ポーフイリー型銅鉱床

ポーフイリー型鉱床は東部アンデス地域の中でもその規模かつ経済性の上で最も重要な鉱床タイプと考えられる。本地域に分布する主要なポーフイリー鉱床の多くは第三紀の貫入の酸性半深成岩体に伴われる。この鉱床をチリ側の同タイプの鉱床と比較した場合、(1)アルゼンティン側でより生成年代が若いこと (Fig. I-3-7), (2)アルゼンティン側では金に富むポーフイリー鉱床が多いこと, (3)チリ側ではしばしば大規模な2次富化体が発達するのに対し、アルゼンティン側では比較的小規模であること, (4)チリ側では狭長な特定の火山弧に鉱床が伴われるのに対し、アルゼンティン側では Cordillera Principal および Frontal から Pamatina Range までの幅広い範囲に点在すること、らが相違点として掲げられる。

東部アンデス地域に特有の広範なポーフイリー鉱床の分布は、18 Ma以降に生じた Flat slab 化と多分に関係がある。沈み込みスラブの低角化に伴い当時の火山フロントは急速に内陸部に向けて東進し、その後鮮新世には終息した (例えば Kay et al., 1989)。従って、アルゼンティンの鉱床をもたらす浅所貫入のマグマは比較的短期間のうちに、東西の広い範囲にわたって活動しており、これが鉱床の分散を決定づける原因となった。なお、この一見散漫に見えるアルゼンティンのポーフイリー鉱床の分布も、中視的には北西-南東あるいは南-北の構造に沿い鉱床・変質帯が配列する傾向が認められるとの説もあり、マグマの地下浅所への定置は、当時の構造弱線に沿って選択的に生じた可能性が指摘されている (SEGEMAR Lavandaio 氏)。

第三紀生成のポーフイリー型鉱床としては、まずチリとの国境地帯に位置する El Pachon (Cu, Mo) プロジェクトが掲げられる。同鉱床は現在アルゼンティン最大のポーフイリー鉱床と目されており、96、97年には Pre-FS の成果がいったん報告された。Cambior 社広報による El Pachon 鉱床の現在の規模は以下のとおり。

Mining Reserves :	880 million tonnes (proven and probable)
Grade :	Cu: 0.62%, Mo: 0.015%, Au: 0.02g/t, Ag: 2.41g/t
Cut-off grade :	0.40%



Location of gold and copper deposits referred to in this issue. Numbers in bold type after the deposit names are ages (Ma). Figure is taken from Sillitoe (1991, fig. 2), which should be referred to for data sources.

Figure I-3-7 Location of gold and copper deposits and their ages in northern Chile and northwestern Argentina. (after Sillitoe, 1991 Fig.2)

チリとの国境地帯にはEl Pachonのほかにも、Yunque, Cerro Mercedarioらの有望ポーフイリー型鉱床が分布する。またMendoza州Uspallata周辺のParamillos Sur (186百万l, Cu:0.58%, Au:0.06-0.42g/l)も第三紀生成のポーフイリー型鉱床である。

東部アンデス地域に分布するポーフイリー型鉱床の多くは第三紀生成と考えられているが、少数の鉱床は二疊紀の酸性岩体に伴って生成している (San Jorge, Yalguaraz, Alcaparrosa)。このうち最も規模が大きいものはメンドーサ州Uspallata北西のSan Jorge (146百万l, Cu:0.5%, Au:0.2g/l, Ag:3.5g/l)であり、現在Grupo Minero Aconcagua社によりPre-FSが行われている。このような古生代の鉱床群は南北に伸長する狭長な帯状分布を呈し、チリにはみられないアルゼンティン固有の鉱床区を形成している。

なお、サンファン州Colanguilパソリス近傍には多数の時代未詳ポーフイリー型鉱床が分布する。このような鉱床としてはサンファン州Pismanta南西のQuebrada de Chila (Cu, Au, Mo), La Poposa (Cu, Au), San Francisco de Los Andes (別称Cerro Negro, Cu, Au), El Retamal (Au, Cu, Mo), El Salado (Cu, Au)がある。このうちPoposaの鉱化年代が最近報告されており、上部中新世 (6Ma)を示した模様である。これらのプロジェクトについては詳細な調査結果が公表されていないが、ほとんどは探査が中断しており、現在のところ経済的価値は見いだされていない。

(2) 金鉱床

調査地域に分布する金鉱床あるいは金鉱床の多くは、ポーフイリー系に伴われる鉱床と推定され、生成環境の観点から、(1)酸性硫酸塩型金鉱床、(2)中熱水性 (深成岩関連) 鉱脈型金鉱床、(3)カーリン型金鉱床の3種の鉱床タイプに大別される。このうち酸性硫酸塩型金鉱床は本地域で最も注目される賦存形態であり、現在の企業探鉱プロジェクトもこのタイプに集中している。

酸性硫酸塩型金鉱床 (acid-sulfate gold deposit) はポーフイリーシステム上部の advanced argillie 変質に伴って生成する鉱床と考えられている (例えばSillitoe, 1973)。東部アンデス地域の場合、このタイプの鉱床はチリ～アルゼンティンの国境地帯、南緯約28度から31度におよぶEl Indio Bellと呼ばれる狭長な金・銅鉱床区に集中的に胚胎される。El Indio Bellは調査地域北部のMaricunga Bellとともに、中期～後期中新世の火山弧に生成した鉱床区であり、その後の削剥を比較的免れて浅熱水系が残存した地域に相当する。El Indio Bellのアルゼンティン側 (Valle del Cura) は、後述するアルゼンティンの鉱業法改正後注目を集めた新しい探査有望地域であり、現在大手鉱山会社やジュニアカンパニーによる多数の探鉱プロジェクトが進行中である。主要なプロジェクトとしては、Argentina Gold社によるYeladero (Au, Ag), Rio Frio (Au, Ag); Barrick Exploraciones de ArgentinaによるDel Carmen (Au, Ag); La Ortiga (Au, Ag), Mina Penoles de ArgentinaによるJaguelito (Au, Ag) らがある。このような探鉱プロジェクトの調査結果はほとんど公表されておらず、探鉱成果の詳細は不明であるが、いずれの鉱化帯

も広範な珪化帯や酸性変質帯など浅熱水環境を特徴づける多くの地質産状が認められる。Valle del Cura以外では、サンファン州Villa Nuevo近傍に分布するCastano Nuevo 鋳微地 (Au, Ag: SONOMA Resources 社) が同タイプの金鋳微地として知られている。また、前述の La Poposa 鋳微地もこのタイプに相当する可能性がある。

鋳脈型金鋳床には、(1) ポーフイリー銅鋳床の近傍に発達する鋳脈、(2) 花崗岩体中の脈の2種の産状がある。いずれの場合も幅1m以下程度の狭長な鋳脈として産し、脈は多量の黄鉄鋳を伴う石英脈である。ポーフイリー鋳床に伴われる鋳脈は、メンドーサ州 Uspallata 部落北西の中期～後期中新世のポーフイリーシステムにまとまって分布しており、通常鋳染型鋳化帯から数km程度離れた位置に生成している。このようなタイプの鋳床としては、メンドーサ州の La Negrita (Au, Ag), Grupo Oro del Sur (Au, Ag), Pampa Fria (Au, Cu) がある。これらの金鋳床は今世紀初頭頃から小規模に採掘された旧坑群であり、当時は地表付近の完全に褐鉄鋳化した酸化部についてのみ採掘が行われた。酸化帯では褐鉄鋳に伴って「とじ金」が観察でき、この部分が手選されたといわれる。鋳脈は様々な量比の黄銅鋳を伴うことも特徴である。一方、花崗岩体に伴われる金鋳脈としては Calingasta 北部の Las Openas 鋳床が知られる。この鋳床はセリサイト化の顕著な二疊紀末の花崗岩に胚胎される鋳脈鋳床で、褐鉄鋳化する高品位部(二次富化帯)が小規模採掘の対象となった。Las Openas の周辺地域に特に鋳微はみられず、孤立した産状を呈する。

本地域の石灰質堆積岩に胚胎される鋳染型金鋳床(いわゆるカーリン型金鋳床)の賦存可能性は1980年代から注目され始めた。当時、サンファン大学地質学部は、Pre-Cordillera 地帯のオルドビス系石灰岩体(San Juan層)について予察調査を実施、この結果4カ所の調査地点でAu: 0.4~5.2g/lの分析品位を得た(Moguilner et al., 1985)。その後、San Juan層における鋳染型鋳床の探鋳はAnglo American社などが手がけたが、現在まで経済性のある鋳化帯は報告されていない。石灰岩を母岩とする金鋳微地としては Igracia 南東の San Juan層に胚胎する Hualilan (Au, Ag) 鋳床が知られている。ここでは新第三紀のポーフイリーデイサイト貫入岩とその上盤石灰岩の岩相境界に調和的な板状鋳体を産し、この周辺に鋳染状の金鋳化作用が発達するとされている。現在も引き続き、Plata Mining社により探査が行われている模様。またラ・リオハ州 Guandacol の南西の San Juan層には第三紀花崗岩直上の石灰岩に Salamanca-Abundancia (Cu, Au) らの鉄・銅系スカルン鋳床が生成している。この周辺でも鋳染型金鋳床の調査が Minas Argentina社により継続されている模様。このほかラ・リオハ州 Jague 北西の La Criollita 鋳微地および La Ramada 鋳微地では San Juan層相当層の石灰岩中の珪化角礫帯で数g/lの金品位が報告されている(SEGEMAR Cravero氏)。

(3) 鉛・亜鉛鋳床

東部アンデス地域に分布する鉛亜鉛鋳床は、調査した範囲では、その産状から浅熱水性鋳脈型鋳床とミシシッピバレー型鋳床の2タイプが認識できる。高い銀品位を伴うことを

特徴とする鉱脈型鉛・亜鉛鉱床としては、北よりサンファン州 Rio Blanco 沿いの Las Carachas Mine (Pb, Zn, Ag), 同 Iglesia 北方の El Fierro Alto および Bajo, 同 El Salado (Pb, Zn, Ag, Cu, Ba), Villa Nueva 部落付近の Castano Viejo (Pb, Zn, Ag), メンドーサ州 Uspallata 北部の Paramillos de Uspallata (Ag, Pb, Zn) らが分布する。このうち最大の Paramillos de Uspallata は 1980 年まで採掘が行われており、幅 30 cm ~ 2 m 程度の約 30 条の鉱脈について、40 万 t の粗鉱 (Ag: 250g/t, Pb: 2%, Zn: 3%) が採掘された。埋蔵残鉱量は 120 万 t といわれる (SM Lavandao 氏聞き取り)。鉱脈は方鉛鉱・閃亜鉛鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱のほか、四面銅鉱、菱鉄鉱、菱マンガン鉱、および石英からなり、多くは脆性変形し易い (即ち割れ目の発達しやすい) 母岩中に胚胎されている。周辺の鉱床分布を考えると、これらの鉱脈型鉛・亜鉛鉱床の多くはポーフイリーシステム周辺部の浅熱環境に近い環境で生成した可能性が指摘できる。調査地域のこのような鉱床は、いずれもかつて小規模に採行された実績があるものの、現在のところ企業採鉱の対象とはなっていない。なお、これ以外の鉱脈型鉱床として、サンファン州の Santa Elena 鉱床がある。この鉱床の成因については議論の余地があり、オルドビス紀のオフィオライト層序に胚胎する鉱脈鉱床であるため、海洋底生成のキプロス型鉱床との見方がある (National Mining Secretaria, 1994)。一方、同鉱床は Alcaparrosa ポーフイリー鉱床の周辺に位置しており、ポーフイリーシステムの周辺相ともみなせ、今後鉱床の産状を十分検討する必要がある。

ラ・リオハ州南端の Helvecia 鉱床は、調査地域にみられる唯一のミシシッピバレー型鉱床である。同鉱床は 1945 年から 82 年まで地元企業により坑内採掘され、この間およそ約 15,000 t の鉛・亜鉛鉱石 (Pb: 35%, Zn: 32%) と重晶石を出鉱した。鉱床はオルドビス紀 San Juan 層の下部に発達する角礫基質に生成し、粗粒な閃亜鉛鉱・方鉛鉱・重晶石からなる。鉱床に直接する結晶質石灰岩にはスカルン化、珪化、あるいは黄鉄鉱の鉱染といったいずれのタイプの周辺変質も認められず、かなりの低温で生成した鉱床とみなせる。従って、海水起源の層間水、あるいはある種のバクテリアが成因に寄与する鉱床である可能性が高いと考えられる。

第4章 総合解析

4-1 JERS-1 OPSデータによる変質鉱物の抽出結果とランドトランス結果の対比

衛星データを用いた変質鉱物の記載は、東部アンデス地域調査範囲の西側、Principal CordilleraおよびCordillera Frontalで取得されたJERS-1 OPSデータを用いて実施した。JERS-1 OPSデータは調査範囲を覆う全範囲で取得されているわけではなく、画像9シーンが入手できたに過ぎない。画像解析では、Upper, Lowerのそれぞれのサブシーンについて各シーン間の輝度補正、バンド間レジストレーション、ソイル・ライン法バンド間輝度補正を行った上でモザイク画像を作成した。このモザイク画像からBGR358のフォールスカラー画像を作成した。次にこのモザイク画像に対し、ログレジデュアル法(MMAI, 1995, 1996a, 1996b)による疑似反射率変換を試み、BGR 6/5 7/5 8/5の比演算画像を作成した。またこの画像から複数の反射率パターンを認識し、変質鉱物グループの分類を行った。一方でモザイク画像データを基に、明礬石、カオリナイト、セリサイト、褐鉄鉱(goethite)の4種の変質鉱物の抽出・記載を行った。記載に当たっては、各鉱物試料の反射率測定値をJERS-1 OPSのバンド配置に再構成し、実験で求めた各鉱物の反射率パターンと各ピクセルの反射率パターンを比較して分類・記載した。以上の各解析結果は150,000分の1に画像化して表現された。

本調査におけるJERS-1による変質鉱物の記載結果とランドトランス結果を考慮すれば、以下のような傾向があると結論づけられた。

- ・ JERS-1解析図は明礬石とカオリナイトをしばしば混同する。しかし酸性変質鉱物として一括した場合、かなり精度の良い対応がみられる。
- ・ 第1年次にLandsat TMで把握された熱水変質部分にセリサイト系変質が記載される場合、これは現実の表層地質と良い一致を示す。
- ・ 熱水変質帯以外の部分、特に水系を中心とした範囲には、著しく広い範囲の誤認が生じており、必ず比演算画像あるいはフォールスカラー画像で当該変質の妥当性を確認する必要がある。

JERS-1の抱えるいくつかの問題点のため、同データは本格的な調査に利用された例はほとんど無く、現在でも各国探査シーンではLandsatを中心とした運用がなされている。しかしながら鉱物認識能力の点に限ればJERS-1データはLandsatを凌ぐ情報量を有していると言え、本調査で示したような解析も可能である。現実的な運用としてはLandsatデータを主とし、これをJERS-1 OPSデータが補完することにより、より対象とする地質の絞り込みが容易になると考えられる。

4-2 東部アンデス地域の鉱化帯の特徴と鉱床賦存のポテンシャル

グランドトルースの結果、第三紀火成岩がまとまって分布するチリとの国境地帯 (Macho Muerto, Valle del Cura) に分布する大多数の鉱床は高硫化系・浅熱水性の変質帯であり、金鉱徴を伴うことが判明した。このような変質帯では、酸性変質の縁辺に発達する中性変質帯中の石英脈が比較的高い金分析品位を呈する傾向があり、探査上注目される。この地域のK-Ar年代測定結果は、Los Mogotes, Filo AmarilloのようにMaricunga Beltと同じ下部～中部中新世を示すもの、またEl Potroのように後期白亜紀の生成年代を示すものの両者が分布することを示した。

二畳～三畳紀火成岩分布域東縁には、ポーフィリー型鉱床、多金属鉱脈型鉱床、鉱脈型金鉱床、電気石+石英化する母岩に伴われる金あるいは銅鉱床らの多様な鉱床・鉱徴地が分布する(Castano, Tocola-Colanguil, Cordon de la Brea)。このような鉱床タイプの中では、若い貫入岩体に伴われるポーフィリー型鉱床が探査上最も注目される。特にColanguilバソリス内部に分布するこのような貫入岩体を調査することは意義があり、新規鉱徴地の発見も期待できると考えられる。また第1年次の衛星画像解析の結果、有望視されたCastano地区の変質帯群のなかでは、Manrique変質帯が浅熱水性金鉱床の賦存が期待される地域として注目される。

Pre-Cordilleraのオールドビス系(La Criollita)に対してもグランドトルースを行ったが、本年度は有望鉱徴を把握するには至らなかった。衛星画像解析からGuachi以外の地区に認識可能な変質帯は認められないことから、他の有望地質セッティングに比較して有望性は低いと判断される。

第1, 2年次の調査結果を総括し、この中から探査余地が大きく、銅ないし金の有望鉱徴が認められ、現在探査が行われていない次の9地域を東部アンデス地域の有望地区として抽出した：ラリオハ州：El Potro, La Ollita-Vicunita変質帯；サンファン州：Rio Frio, Cordon de la Inca, Filo Amarillo-Bordo Atravesado, Manrique, Guachi, メンドーサ州：Paramillos Norte - Creston Amarilloの環状変質帯, San Benicio-Corladerous。また新規鉱徴地の発見が期待される要調査範囲としては、サンファン州のColanguilバソリス、およびCastano地域西方のLas Burras変質帯などが含まれる第三紀火成岩の分布域が揚げられる。

第5章 結論および提言

5-1 結論

東部アンデス地域の第2年次調査として、JERS-1 OPS データを用いる変質鉱物の記載、およびグラントルースを実施した。

リモートセンシング変質帯精密解析の結果とグラントルース調査結果の対比によれば、JERS-1 OPSデータによる変質鉱物の記載には以下の特徴が認められた。(1) JERS-1解析図は明礬石とカオリナイトをしばしば混同する。しかし酸性変質鉱物として一括した場合、かなり精度の良い対応がみられる。(2) 既存の熱水変質帯にセリサイト系変質帯が記載される場合、これは現実の表層地質と良く一致する。(3) 熱水変質帯以外の部分、特に水系を中心とした範囲には、著しく広い範囲で誤認が生じるため、必ず比演算画像あるいはフォールスカラー画像で当該変質帯の妥当性を確認する必要がある。以上の分帯結果の特徴を踏まえた解析を行うことにより、より詳細な変質帯マッピングが可能になる。

第2年次グラントルースとして、以下に示す6地域に対して40地区の現地調査を実施した：(1) Castano地域、(2) Tocota-Colanguil地域、(3) La Criollita 鉱微地 (Pre-Cordillera in La Rioja)、(4) Cordon de la Brea地域、(5) Macho Muerto地域、および(6) Valle del Cura地域。グラントルースの結果、第三紀火成岩がまとまって分布するチリとの国境地帯 (Macho Muerto, Valle del Cura) に分布する大多数の鉱床は高硫化系・浅熱水性の変質帯であり、金鉱微が伴われることが判明した。このような変質帯では、酸性変質帯の縁辺に発達する中性変質帯中の石英脈が比較的高い金分析品位を呈する傾向があり、探査上注目される。この地域のK-Ar年代測定の結果は、Los Mogotes, Filo AmarilloのようにMaricunga Bellと同じ下部～中部中新世を示すもの、またEl Potroのように後期白亜紀の生成年代を示すものの両者が分布することが判明した。

二畳～三畳紀火成岩分布域東縁には、ポーフイリー型鉱床、多金属鉱脈型鉱床、鉱脈型金鉱床、電気石+石英化する母岩に伴われる金あるいは銅鉱床らの多様な鉱床・鉱微地が分布する (Castano, Tocota-Colanguil, Cordon de la Brea)。このような鉱床タイプの中では、若い貫入岩体に伴われるポーフイリー型鉱床が探査上最も注目される。特にColanguilバソリス内部に分布するこのような貫入岩体を調査することは意義があり、新規鉱微地の発見も期待できると考えられる。この主旨から、JERS-1 OPSデータの解析から有望視された2か所のセリサイト変質帯を調査したが鉱微把握には至っていない。また第1年次の衛星画像解析で有望視されたCastano地区の変質帯群のなかでは、Manrique変質帯が浅熱水性金鉱床の賦存が期待される地域として注目される。

Pre-Cordilleraのオルドビス系 (La Criollita) に対してもグラントルースを行ったが、本年度は有望鉱微を把握するには至らなかった。衛星画像解析からGuachi以外の地区に認識可能な変質帯は認められないことから、他地域に比較して有望性は低いと判断される。

第1, 2年次の調査結果を総括し, この中から探査余地が大きく, 銅ないし金の有望鉱徴が認められ, 現在探査が行われていない次の9地域を有望地区として抽出した: ラリオハ州: El Potro, La Ollita-Vicunilla変質帯, サンファン州: Rio Frio, Cordón de la Inca, Filo Amarillo-Bordo Atravesado, Manrique, Guachi, メンドーサ州: Paramillos Norte - Creston Amarillo 環状変質帯, San Benicio-Cortaderous.

5-2 今後の調査への提言

いずれの有望地区においても今後は地表精査が重要である。1:5,000程度のスケールの図を基に、ロックチップを密に採取、鉱徴を余さず記載し、またこの上、必要に応じて、グリッドサンプリング、トレンチ、またパイロットボーリングを実施することが考えられる。またこのような基本的調査の他に、Rio Frio, Cordon de la Inca, Pilo Amarillo-Bordo Atravesadoらの比較的大規模な変質帯では、衛星データを用いて、調査を効率化する方法も考えられる。これらの変質帯は、酸性変質周辺の中性変質が金鉱徴をしばしば伴っており、この中性変質の部分の位置の把握が探査上重要になる。JERS-1 OPSデータによる鉱物記載は、特定鉱物の判別にはやや問題があるものの、酸性変質・中性変質の別はかなりの確からしさで判別可能と考えられる。従って、地表調査に先立って、1:10,000程度のスケールの個々のピクセルが認識可能な判読図を用意し、ある程度優先的に調査を行う範囲を事前に決定することも可能であると考えられる。

以上の有望地区のほか、新規鉱徴地の発見に向けて、特にTocota-Colanguil地区のColanguilバソリスのグランドトルースを継続して行いたい。Colanguilバソリスは南北延長200km以上にわたって分布する広範な花崗岩分布域であるため、ここでも衛星画像を用いた解析が効率が良い。ただしこの地域の場合、バソリスには広範にセリサイト（白雲母）が伴われており、極めて注意を払わない限り、バソリス全体が示すLandsat TMバンド7の異常とこれに貫入する若い時代の貫入岩がもたらす熱水変質の異常を混同し、見落とす恐れがある。このような部分では強調処理した比演算画像を用い、既存鉱徴であるVicunita (El Salado) 地区を教師として類似のスペクトル・産状を探す工夫が必要である。事実、このColanguilバソリス中の唯一のポーフィリー型既知鉱徴は1990年代になって発見された新鉱徴地であり、類似の地質環境を新たに発見できる可能性があると考えられる。

Las Burras変質帯を含むCastano地域西方の変質帯は、アクセスは大変であるものの、Valle del Cura地域の南部延長である可能性が高い。ここでは、まず予察調査により変質の概要を把握することが重要である。

第 II 部

第II部 各論

第1章 グラントトルース

1-1 調査対象地域の選定

グラントトルース地点の抽出にあたっては、第1年次解析で抽出された広域的地質要素、即ち、(1) 第三紀貫入岩体、(2) 二疊-三疊紀酸性深成岩体分布域の東縁、および(3) オルドビス紀石灰岩体 (San Juan層)らの地質状況を有望示徴として考慮したほか、既存文献から判断される有望鉱徴、JERS-1衛星データから認識できる有望変質、カウンターパートであるSEGEMARの推薦地区を考慮して決定した。この結果、本年度は以下に示す6地域に対して40地区のグラントトルースを実施した(Fig. II-1-1)：(1)Castano 地域、(2)Tocota-Colanquil地域、(3)ラ・リオハ州Pre-Cordilleraに位置するLa Criollita鉱徴地、(4)Cordon de la Brea地域、(5)Macho Muerto地域、および(6)Valle del Cura地域。このうち、比較的地質情報の乏しいCastano, Macho Muerto, Cordon de la Breaの各地域については、より重点をおいて調査を行い、地質データの集積に努めた。

グラントトルースの実施にあたっては、できるだけ多くの鉱徴地にアクセスすることを念頭に置いたため、ほとんどの調査地区で移動込みで約半日～1日程度の調査が実施できたに過ぎない。半日あるいは1日の時間配分は、それぞれの調査地区の規模、有望性、アクセスの難易を考慮して決定した。

Macho Muerto地域については、平成9年度調査期間中である1998年3月にJMEC 林、宮武、およびSEGEMAR La Rioja Carrizo氏が補完的なグラントトルースを実施した。この調査結果も合わせて今年度の報告書に記載する。

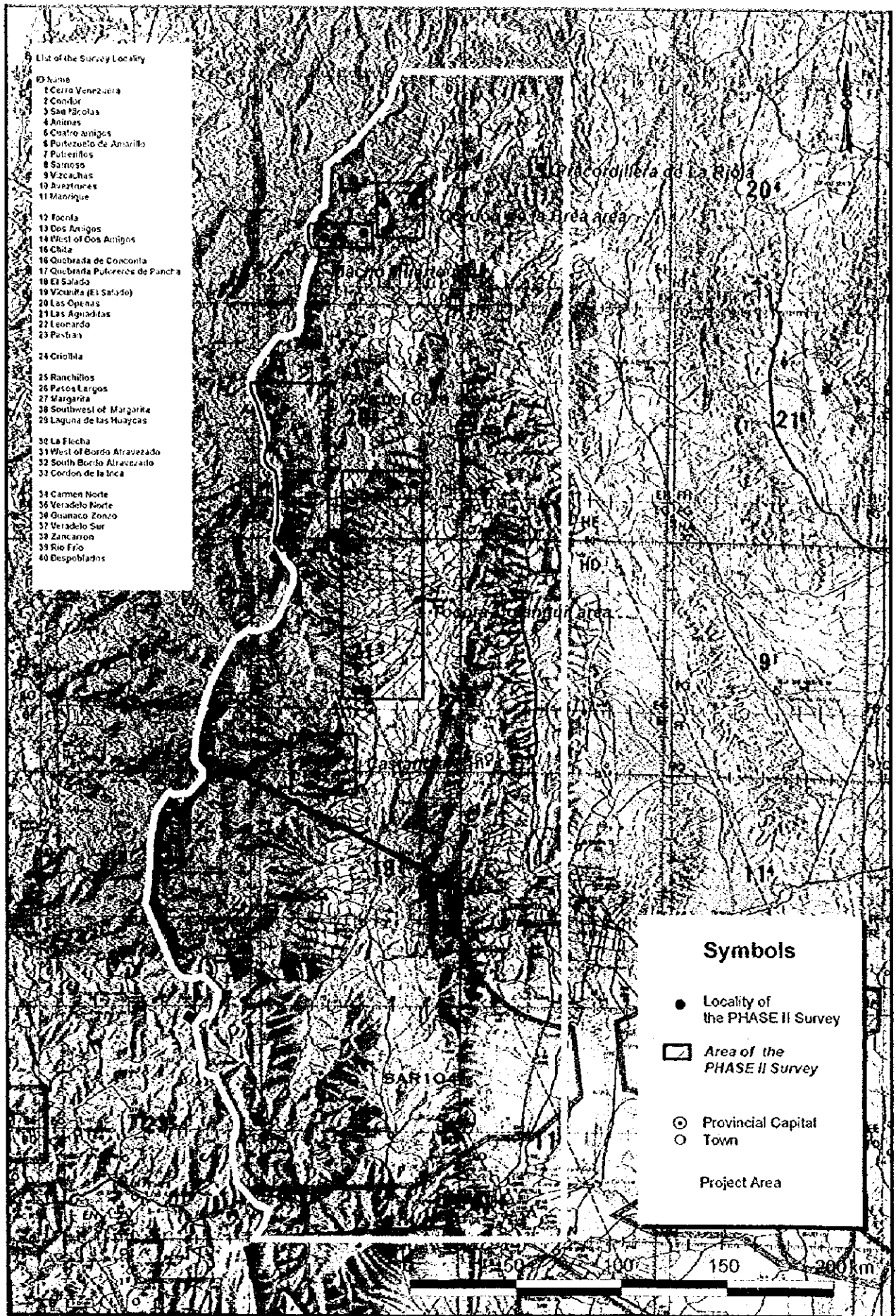


Figure II-1-1 Location of groundtruth-site in the phase II survey, Eastern Andean area.

0

0

0

1-2 調査結果

1-2-1 Castano地域

本地区は第1年次に実施した変質帯評価の上で高得点を得た地域に相当する。変質帯の評価にあたっては、第1年次に実施したランドサットTM画像解析により抽出された東部アンデス地域の96カ所の変質帯について、各変質帯の地質、熱水変質の確からしさ、構造の3点から得点を与えた。この結果、本地区に分布する変質帯AA7066 (Aveztruces)、AA7069 (Manrique)は最高得点を得、注目された。

本地区には石炭紀の砂岩・泥岩(Agua Negra層)とこれに不整合の関係で累重する二畳～三畳紀の安山岩および同質火砕岩(Choiyoi group)が分布しており、これらは二畳～三畳紀の流紋岩質の岩脈、花崗岩類の貫入を被っている(Fig. II-1-2～II-1-4)。このうち旧坑や熱水変質の多くはChoiyoi group中に位置を占める。この地域でかつて採掘された鉱床タイプは銀に富む鉛・亜鉛鉱脈型鉱床であり、一群の旧坑群が本地区中央部にまとまって分布する(Castano Viejo district: Cardo, 1998)。Castano Viejo旧坑群のうち、最も大規模に採掘されたCompana坑は、出鉱量630,000トン、品位Pb: 6.5%, Zn: 8.5%, Cu: 0.4%, Ag: 80g/t、これに次ぐCuatro Amigos坑は、出鉱量: 2～300,000t、平均品位Pb:15.0%, Zn:24.3%, Ag:270g/tの鉱床規模が報告されている(Raul, 1998)。この2つの鉱床以外にも、地域には多数の小規模鉱脈鉱床が分布しており、SMは地域全体で80万トンの残鉱量、Pb:3-9%, Zn:1-7.4%, Ag:114-507g/t、Cu:<1%, Au:<2g/tを推定する。Castano地域には、以上の旧坑のほか、現在まで鉱化が知られていない熱水変質帯も多数分布しており(Fig. II-1-5, II-1-6)、衛星画像上では径50km程度のほぼ円形の範囲に大小多数の変質帯が凝縮して分布する様子が見て取れる(Fig. II-1-2, II-1-3)。なお、90年代初頭に本地区の調査を行った米国Northwest社はCastano地域を削剥の進んだ成層火山と解釈した(Norwest Mining Service Inc., 1993)。

本地区のグラントルースのポイントは、鉱化作用が知られていない熱水変質帯を対象としてポーフィリー型鉱床伏在の可能性を探る点にある。この背景として、Castano地域の一部では既に2つのポーフィリー型鉱徴の存在も報告されていること(El Retamal, Guanaquero)、また、Paramillos Sur(Cu, Mo)とParamillos de Uspallata(Ag, Pb, Zn)の関係や、Vicunita alteration(Cu, Au)とEl Salado(Ag, Pb, Zn)の関係にみられるように、東部アンデス地域ではポーフィリー型鉱床と鉱脈型銀・鉛・亜鉛鉱床がしばしば隣接して産する産状があることに基づく。変質年代に関する値は発表されていないものの、変質帯の一部は第三紀生成の可能性もあり(Jones et al., 1996)、仮にこの場合、大規模鉱化帯への発展も期待できる(JICA/MMAJ/JMEC, 1998)。

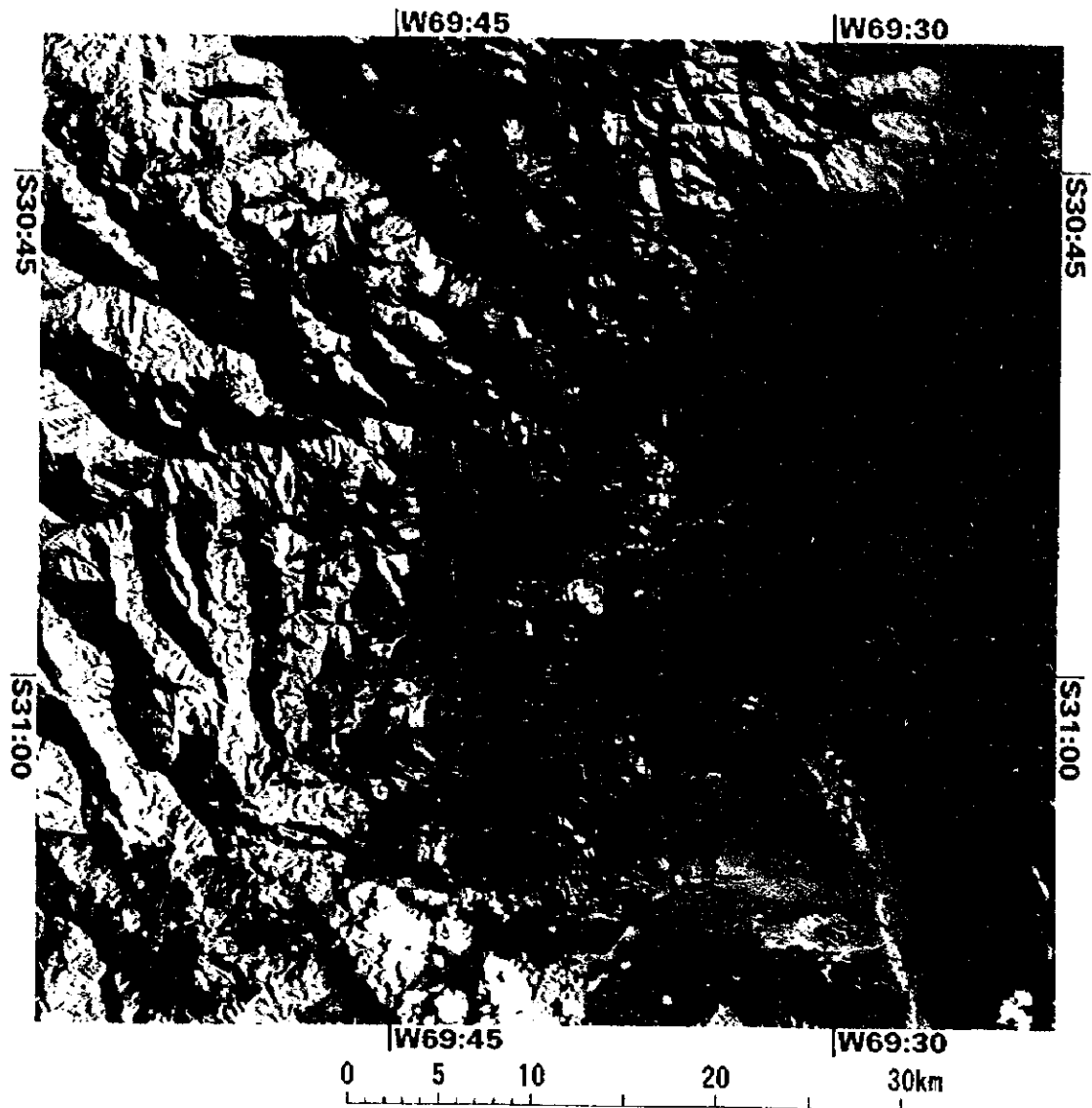


Figure II-1-2 Landsat TM color-ratio composite of the Castano area. after JICA/MMAJ/JMEC (1998), BGR: 3/1 4/5 5/7

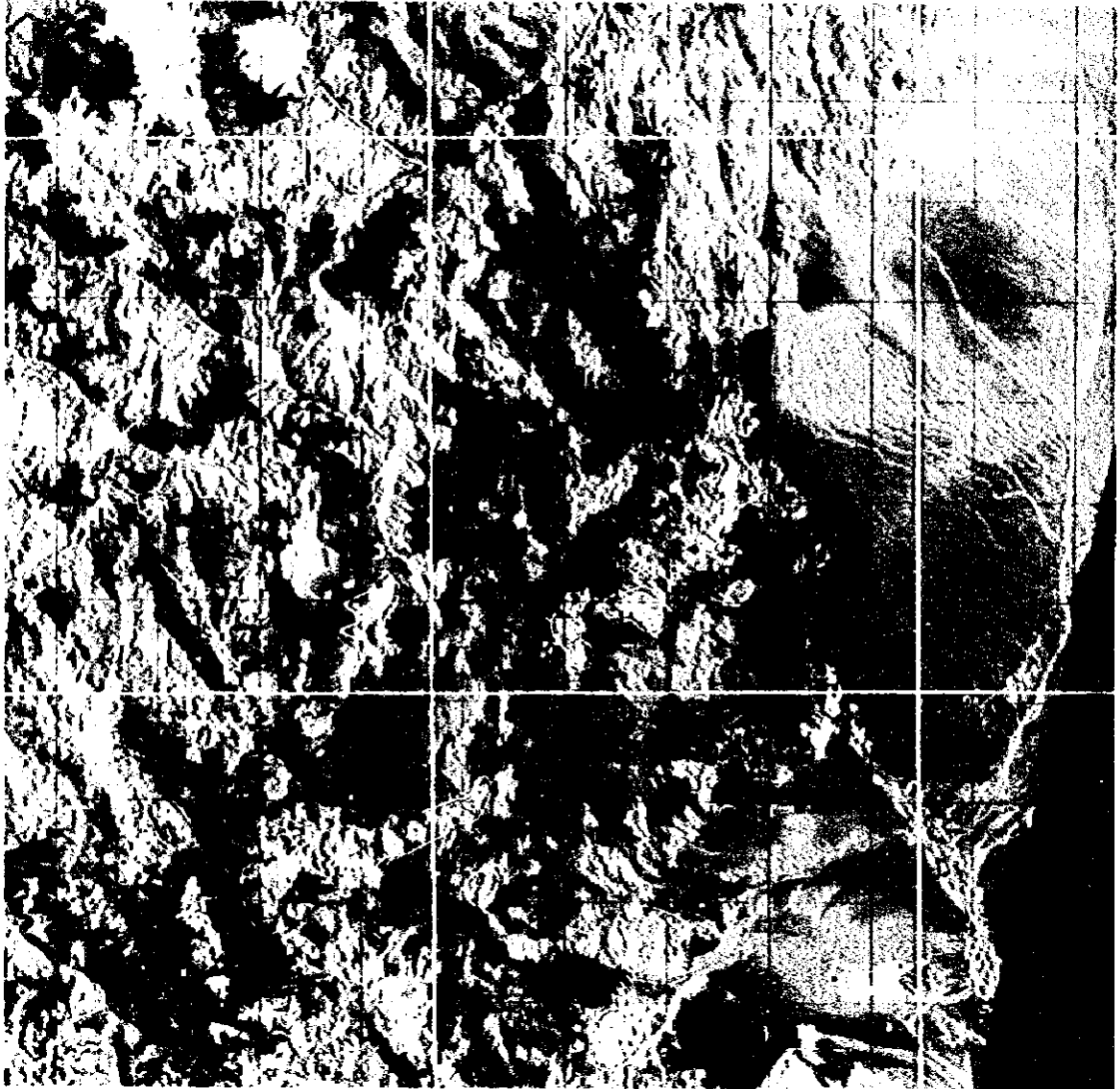


Figure II-1-3 JERS-1 OPS false color composite of the Castano area.BGR:358

0

0

0

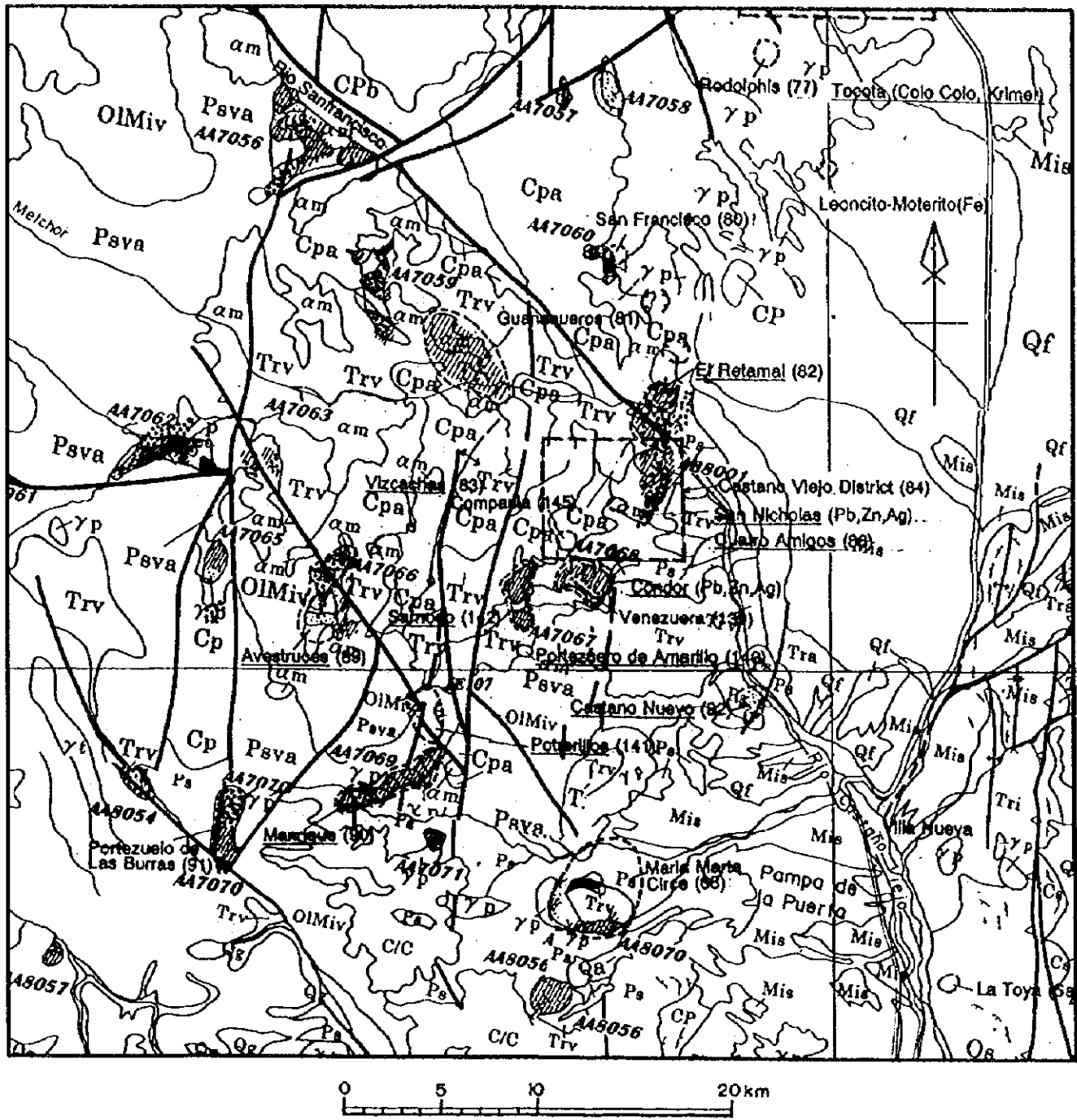


Figure II-1-4 Lithology, structure, and hydrothermal alteration interpreted from 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite, false color composite, and JERS-1 OPS data, Castano area.

0

0

0

