


No. 4

JICA LIBRARY

J 1143006 (3)

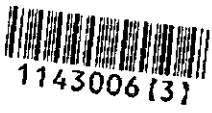
1981
1981

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

第1年次

平成10年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1143006{3}

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、金属鉱業事業団は現地調査団を平成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日から平成10年3月20日の間現地に派遣した。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。

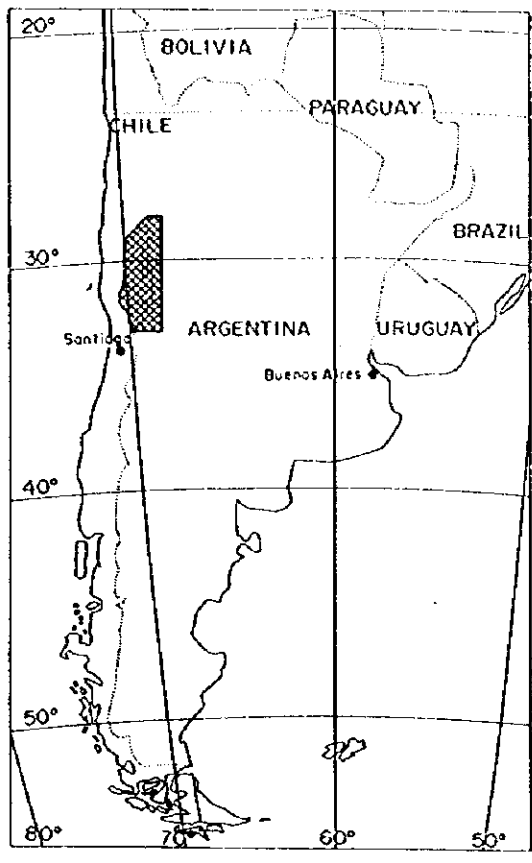
本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

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10年3月

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



Location of East Andean area

要 約

本調査はアルゼンティン政府と日本政府との間で平成9年7月16日に締結された作業実施協定書(S/W)に基づき、同国東部アンデス地域における鉱床賦存有望地域を抽出することを目的として平成9年度より2カ年で実施するものである。

第1年次にあたる今年度は、地質鉱床情報の収集・解析を主体とする既存情報整理、ランドサットデータを用いた衛星画像解析、およびこれら情報から抽出された有望地域におけるグラントルースを実施した。

既存情報の入手にあたっては主としてSEGEMAR(Servicio Geologico Minero Argentino)の本部および各地方支所を通じて行い、同機関発行の調査報告書、地質図、関連資料を収集した。またこのほかにも各州政府機関が発行する資料、国際雑誌、学会要旨等を収集した。これらの情報は旧坑、評価中の鉱床、鉱微地、変質帯を見出しとするデータベースの形式で整理され、その総項目数は135におよんだ。この情報収集・整理を通じて、東部アンデス地域における、最も有望な調査対象はポーフイリー型金・銅・モリブデン鉱床とこれに付随する金鉱床であると判断された。また有望地区を選定するための着眼点を整理し、以下のとおり複数のポーフイリー型鉱床に共通する事項を抽出した：(1)第三紀貫入岩体、(2)二疊～三疊紀貫入岩体、(3)オルドビス紀層序、(4)環状構造、(5)断裂の交差部・錯綜部、(6)高磁気異常。また、プロジェクトスケールとしては(1)ジャロサイト溶脱帯、(2)溶脱帯のモリブデン地化学異常、(3)微小割れ目の密度、らが鉱微地・変質帯の評価に有効と考えた。

衛星画像解析はポリヴィア国境からメンドーサに続く広範な範囲を調査対象とした。この範囲について、23シーンのランドサット5TM画像から1:250,000のBGR145フォールスカラー画像およびBGR 3/1 4/5 5/7 カラー比演算画像を作成し、地質、構造(リニアメント)、変質帯を記載した。調査対象地域内では大規模リニアメントであるRio Guandacol Lineamentのほか、多数の中小リニアメントが抽出された。リニアメントの方位については、N-S系、NW-SE系、NE-SW系がこの順に卓越する。また96カ所の熱水変質帯が抽出され、ポーフイリー型銅鉱床、浅熱水金銀鉱床などの熱水性鉱床の示徴とみなされる。またとくにポーフイリー型鉱床分布の見地からMendoza Lineを規定し、この南部に多くの既存鉱微が分布する傾向を認めた。

グラントルースは代表的な鉱微地と変質帯、および衛星画像から抽出した有望変質帯に対して実施した。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 Gualcamayo～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、期待できる鉱微地と評価さ

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。

衛星画像解析で抽出された東部アンデス地域の96カ所の変質帯に対して、グランドトールースの結果を加味して詳細な評価を行った。評価事項は、貫入岩の有無(2点)、熱水変質の確からしさ(2点)、およびリニアメントの錯綜や環状構造など地質構造上の有望性(2点)であり、合計6点満点の採点を行った。この結果3点以上の比較的高い評価を得た46の変質帯は以下の地区に分布することが判明した：(1) Cordon de la Brea area, (2) Valle del Cura area, (3) Guachi area, (4) Rio Castano Viejo area, (5) El Pachon area, (6) Paramillos area。このうちRio Castano Viejo areaの中央部には最高得点(5点)を得た2カ所の変質帯が認められた。

広域調査初年度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年次も引き続き初年度目的を補足する調査を実施したい。第2年次調査の補足調査対象地区としては、(1)Cordon de la Brea地区、(2)Calingasta - Tocola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。

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明らかになりつつあり、これらから作業仮説を起し、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。

(1) 第三紀貫入岩体の周辺熱水変質

この観点から注目される地域はEl Pachon地区である。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らの変質帯が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

この観点から注目される有力な探査対象として、リニアメントの錯綜の程度が大きいRio Castano Viejo areaのAA7065~AA7069の変質帯が抽出される。このうち地域中央部のAA7065, AA7069は最高スコアを得た変質帯である。

(3) オルドビス紀層序中の第三紀貫入岩

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、しばしば品位の高い金鉱徴地を形成する。具体的な有望地区としては、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Iglecia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、変質帯の詳細を把握する目的で、JERS-1 OPSなどの粘土鉱物認識能力の高い人工衛星データの解析も状況が許せば実施したい。

目次

はしがき	
調査地域位置図	
要約	
目次	
図表一覧 (Figures and Tables)	

第1部 総論

第1章 調査概要	1
1-1 調査の目的	1
1-2 調査実施の経緯	1
1-3 調査地域	3
1-4 調査方法	3
1-5 調査団の編成	5
1-6 調査期間および調査量	7
第2章 調査地域の地理	9
2-1 位置および交通	9
2-2 地形および水系	13
2-3 気候および植生	14
第3章 調査地域の地質、鉱床、鉱業事情	15
3-1 地質および造構史	15
3-2 鉱床概要	30
3-3 既往調査の概要	36
3-4 アルゼンティンの最近の鉱業事情	40
第4章 調査結果の総合検討	42
4-1 既存資料解析	42
4-2 衛星画像解析	42
4-3 グラントルース	43
4-4 地質構造・鉱化作用の特性と鉱化規制	43
4-5 鉱床賦存のポテンシャル	44
第5章 結論および提言	45
5-1 結論	45
5-2 第2年次調査への提言	45

第II部 各論

第1章 既存資料解析	47
1-1 既存資料の収集と整理	47
1-2 既存資料にみる代表的な鉱床の産状	59
1-3 考察	80
第2章 グラントルース	83
2-1 調査対象地域の選定	83
2-2 調査結果	99
2-3 考察	188
第3章 河床堆積物の分析	195
3-1 経緯	195
3-2 試料	195
3-3 分析法, 分析成分, 検出限界	197
第4章 考察	198
4-1 既存鉱化帯の分布特性と地質構造	198
4-2 衛星画像で認識された変質帯	202
4-3 鉱床賦存のポテンシャル	207
第III部 結論および提言	209

引用文献 (References)

付録 (Appendix)

Appendix 1 東部アンデス地域鉱床・鉱徴地総覧

Appendix 2 グラントルース採取試料室内試験結果

Appendix 3 "Tratado Entre La Republica Argentina Y La Republica De Chile Sobre Integracion Y Complementacion Minera (国境協定書)" 全文と和訳

別冊報告書

平成9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 East Andean area

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

Figure I-1-2 Location map of the survey area.

Table I-1-1 Record of the survey.

Table I-1-2 Laboratory test.

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 Schematic cross section showing the geodynamic model of the Argentine Pre-Cordillera. (after Astini et al., 1995, Fig. 11)

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)

Figure I-3-8 Location of the reserved areas by the UNDP surveys.
(after UN, 1970)

Figure I-3-9 Survey area of recent cooperation program operated in Argentina.

Figure II-1-1 Location of mineralized area, Tertiary intrusive, Ordovician olistolith, and major fault in the Eastern Andean area, Argentina.

- Figure II-1-2 Generalized geologic map (a) at El Indio 4050 Mine Level, and its cross section (b) of the A-B line in Figure (a).
(after Jannas et al., 1990, Fig. 4 and 5)
- Figure II-1-3 Comprehensive map of Castano Nuevo prospect. (after Sonoma Resources Corporation, 1997, Fig. 1)
- Figure II-1-4 Geologic map of Paramillos Sur prospect. (after U.N., 1970, Fig. 31)
- Figure II-1-5 Areal geology of the Paramillos district, Mendoza. (Modified from National Mining Secretariat, 1994, p.189)
- Figure II-1-6 Principal outcrops, topography, mineralized zones, and drilling results at Paramillos Sur prospect. (after U.N., 1970, Fig. 33)
- Figure II-1-7 Drilling log of borehole 25 at Paramillos Sur prospect. (after U.N., 1970, Fig. 34)
- Figure II-1-8 Geology, alteration, and mineralization of San Jorge prospect. (after SONOMA resources, 1997, Fig. 1)
- Figure II-1-9 Regional geologic profile of El Pachon prospect. (after Lencinas and Tonel, 1993)
- Figure II-1-10 Geology and alteration of El Pachon prospect. (after Lencinas and Tonel, 1993)
- Figure II-1-11 A profile of geology and alteration of Breccia Sur, El Pachon prospect. (after Lencinas and Tonel, 1993)
- Table II-1-1 List of published geological, economical, and political reports about the East Andean area, reserved through this survey.
- Table II-1-2 Summary of ore estimation in Paramillos Sur prospect. (after U.N., 1970, Table 22)
- Figure II-2-1 Location map of ground-truth survey.
- Figure II-2-2 Geology, lineament, and alteration interpreted from a set of 1:250,000 Landsat TM color-ratio composite and false color composite, East Andean area, Argentina.
- Figure II-2-3 Weathered coarse grained arenite in the Granite prospect.
- Figure II-2-4 Panoramic overview of the Helvecia mine.
- Figure II-2-5 Occurrence of brecciated limestone, Helvecia underground.
- Figure II-2-6 Thrust contact between Carboniferous sandstone and Ordovician limestone, Corral prospect.
- Figure II-2-7 Occurrence of dacite porphyry, Corral prospect.

- Figure II-2-8 Limestone xenolith within dacite porphyry, Corral prospect
- Figure II-2-9 Silicified limestone with Cu-oxide stain in the Corral prospect
- Figure II-2-10 Distribution of old working in the San Francisco de los Andes prospect.
- Figure II-2-11 The northwestern open pit in the San Francisco de los Andes prospect.
- Figure II-2-12 Quartz-tourmaline breccia in the San Francisco de los Andes prospect.
- Figure II-2-13 Occurrence of andesite dyke in the El Retamal prospect.
- Figure II-2-14 Occurrence of microdioritic dyke in the El Retamal prospect.
- Figure II-2-15 Mineralized stockwork quartz veinlet in the Chita prospect.
- Figure II-2-16 Biotite granite near the El Fierro Bajo prospect.
- Figure II-2-17 Granite porphyry near the El Fierro Bajo prospect.
- Figure II-2-18 Occurrence of a base-metal vein, Guachi prospect.
- Figure II-2-19 Geological and geochemical features in the northeast outcrop, Pampa Fria.
- Figure II-2-20 Overview of the northeast outcrop, Pampa Fria.
- Figure II-2-21 Occurrence of the quartz vein in the northeast outcrop, Pampa Fria.
- Figure II-2-22 Geology and alteration of San Benicio prospect.
- Figure II-2-23 View of San Benicio alteration zone, looking north-east from the survey point 1.
- Figure II-2-24 View of central part of San Benicio alteration zone, looking the survey point 1 from the survey point 5.
- Figure II-2-25 View of San Benicio alteration zone, looking south from the survey point 21.
- Figure II-2-26 Hydrothermal brecciation at sample highly silicified point, San Benicio prospect.
- Figure II-2-27 Occurrence of neotocite at the survey point 35, San Benicio prospect.
- Figure II-2-28 Occurrence of quartz vein with pitch limonite, San Benicio prospect.
- Figure II-2-29 Occurrence of hydrothermal breccia in the San Jorge prospect.
- Figure II-2-30 Occurrence of primary ore of SSD-11 264m, San Jorge prospect.
- Figure II-2-31 Geology and copper anomalies in plants, Paramillos Norte. (after U. N., 1970)

Figure II-2-32 Occurrence of hydrothermal breccia, Paramillos Norte.

Table II-2-1 Summary of mineralized area, evaluation, and the area ground truth conducted, East Andean area.

Table II-2-2 Evaluation of the ground truth survey area.

Figure II-3-1 Sampling area of stream sediments.

Table II-3-1 Elements and detection limites (INAA).

Table II-3-2 Elements and detection limites (ICP-AES).

Figure II-4-1 Promising alteration and Landsat TM image interpretation superimposed on Figure II-1-1.

Table II-4-1 Evaluation of alteration areas detected by Landsat TM data

第 I 部

平成9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I部 総論

第1章 調査概要

1-1 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、既存データ解析、衛星画像解析、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。

1-2 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
パタゴニア地域(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。

本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ワイ、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

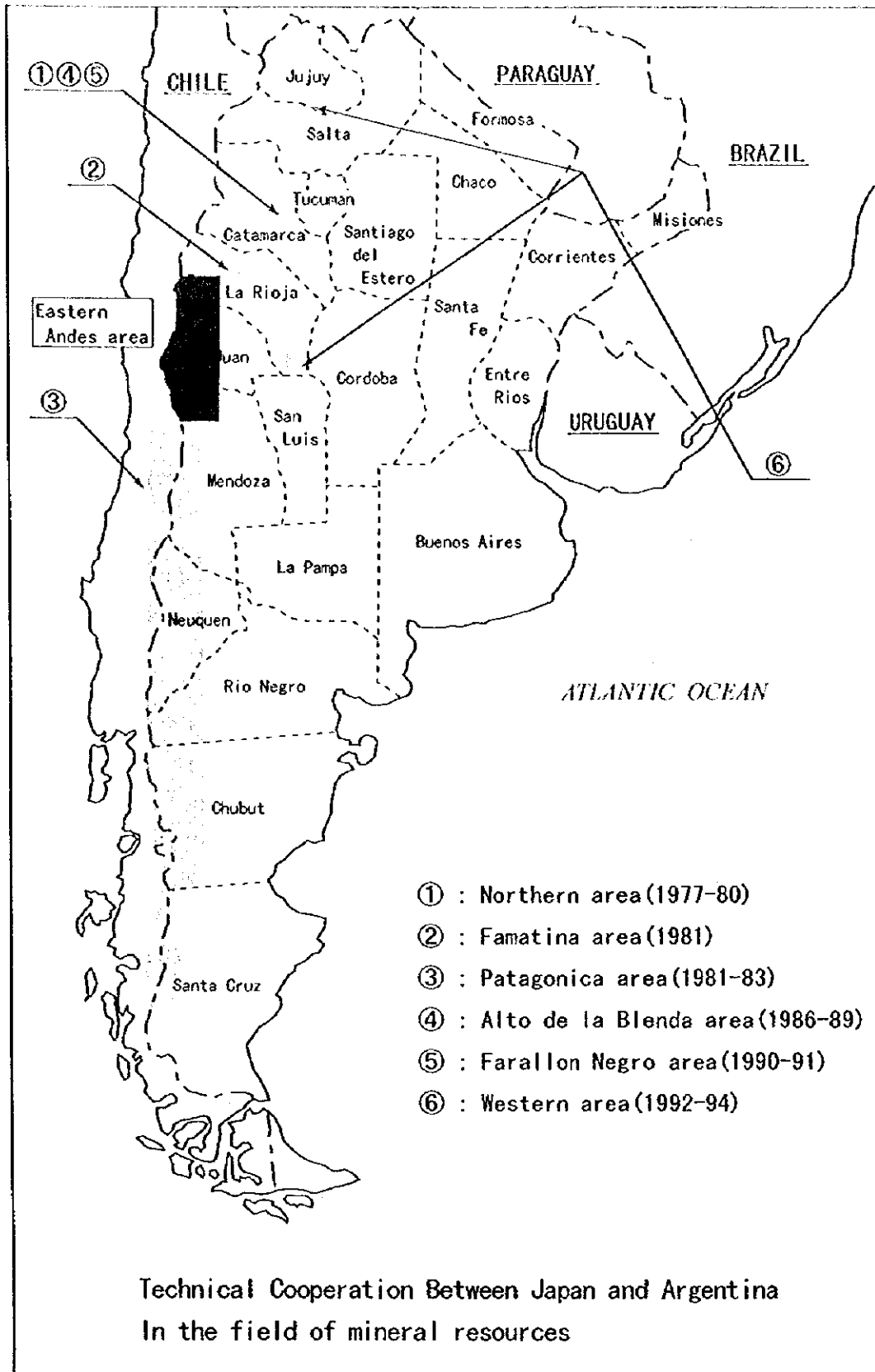


Figure I-1-1 Location map of the past projects

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・商鉱工業庁との間で Scope of Work (S/W:作業実施協定書) が調印された。

本年度から新たに再スタートする鉱物資源広域調査の主旨は、既存情報および衛星画像を解析し、仮説に基づいてグラントルース(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。予定調査期間は2か年である。初年度に当たる本年度は、詳細な地質鉱床情報の収集、衛星画像解析及びこれら情報から抽出された有望地域におけるグラントルースを実施した。

1-3 調査地域

調査地域は、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までの範囲にあたる南北に狭長な77,000km²の範囲である(Fig. 1-1-2)。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。

ランドサットデータを用いた衛星画像解析は、東部アンデス地域を越えたより広い範囲を含めて実施された。解析範囲は、北はアルゼンティン-ボリビア国境地帯から、南はサンチャゴ市およびメンドーサ市に至るまで、また西はチリ側アンデス山岳地帯から、東はアルゼンティンの内陸部サルタ市に至るまでの範囲である。解析された地上面積は合計約650,000km²である。

1-4 調査方法

(1) 既存データ解析

相手国機関及び関係機関が保有している調査地域に関する地質調査、地化学探査、物理探査、ボーリング調査等の既存データを収集・整理し、鉱床賦存有望地区の抽出に資する。

(2) 衛星画像解析

プロジェクト選定調査において実施した衛星画像解析を継続し、LANDSATのTM画像を用い、リニアメント解析、地質構造解析、変質帯抽出等を実施、鉱床賦存有望地区の抽出に資する。

(3) グラントルース(現地踏査)

既存データ解析並びに衛星画像解析の結果を基に、現地踏査地区を選定し、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。

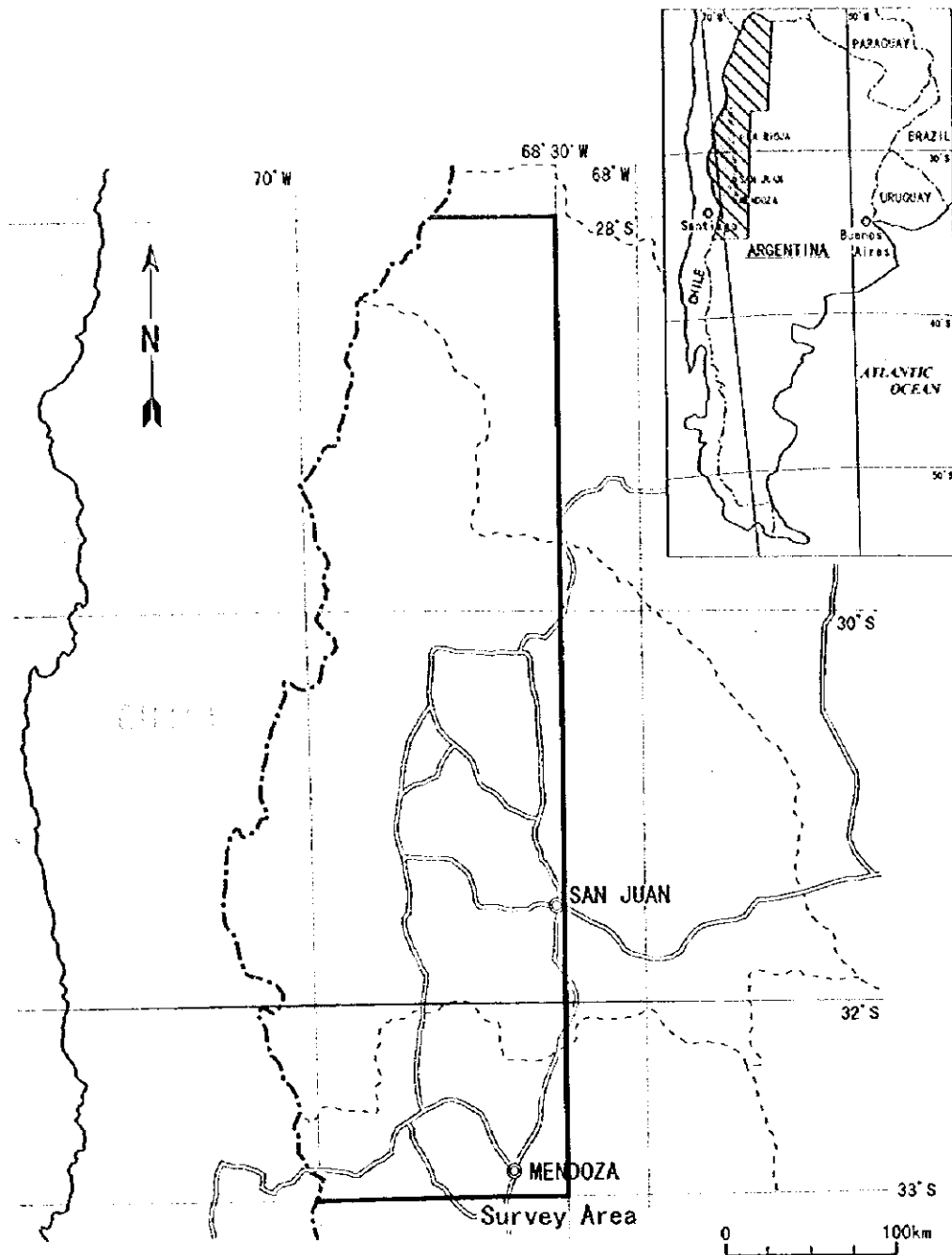


Figure I-1-2 Location map of the survey area

Satellite Analyses
 Data Compiling & Ground Truth

(4) 河床堆積物の分析

アルゼンティン共和国がかつて採取し保有していた 2,271個のサンプル(河床堆積物)につき、化学分析を行い、総合解析の参考に資する(1年次は分析のみ)。

1-5 調査団の編成

(1) 事前調査 及び協定折衝

a) 日本側

竹中 繁雄 (団長, 金属鉱業事業団 理事)
神谷 太郎 (国際協力事業団 鉱工業開発調査部 資源開発調査課)
上木 隆司 (金属鉱業事業団 海外部 計画課)
山本 恭久 (金属鉱業事業団 サンチャゴ海外調査員)

b) アルゼンティン共和国側

Dr. Alieto Guadagni (Sr. Secretario de Industria, Comercio y Minería
Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos,
Argentine Republic)
(経済公共事業省・商鉱工業庁 長官)

Lic. Daniel Meilan (Subsecretaria de Minería=SSM, Secretaria de Industria,
Comercio y Minería)
(商鉱工業庁 鉱業担当次官=鉱業(担当)庁長官)

Ing. Hugo Nielson (Presidente, Servicio Geológico Minero Argentino
=SEGEMAR, SSM)
(鉱業庁 アルゼンティン鉱山地質サービス局 局長)

Lic. José E. Mendia (Director Interino del Instituto de Geología y Recursos
Mineros=IGRM, SEGEMAR, SSM)
(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 部長代理)

Geol. Eddy Lavandaio (Coordinador Técnico de Delegaciones Regionales,
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)

(2) 現地調査

a) 日本側

細井 義孝 (団長, 総括, 既存データ解析, 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 : IMEC)

林 歳彦 (既存データ解析, グランドトルース) (財)国際鉱物資源開発協力協会

宮武 修一 (既存データ解析, グランドトルース) (財)国際鉱物資源開発協力協会

山本 邦仁 (既存データ解析, グランドトルース) (財)国際鉱物資源開発協力協会

b) アルゼンティン共和国側

調査協議(ブエノスアイレス)

Dr. Roberto Page (調査計画) Secretario Ejecutivo, SEGEMAR, SSM

(鉱業庁 アルゼンティン鉱山地質サービス局 副局長)

Lic. Jose E. Mendia (調査計画) ー前出ー

Dr. Eduardo Zappellini (調査計画, 地化学探査) Director, IGRM, SEGEMAR, SSM

(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)

全体調整

Geol. Eddy Lavandaio (総括, 調整) ー前出ー

ラリオハ州調査

Lic. Oscar R. Marcos (調整, 既存データ解析, グランドトルース)

Delegado en La Rioja, SEGEMAR, SSM(鉱業庁 ラリオハ支所長)

Geol. Osvaldo V. Cravero (既存データ解析, 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

Ing. Victor Hugo DE LOS RIOS (調整, 既存データ解析)

Delegado en San Juan, SEGEMAR, SSM(鉱業庁 サンファン支所長)

Lic. Raul Cardo (既存データ解析, グランドトルース)

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

Ing. Ernesto Ariel LAPIDUS (調整, グランドトルース)

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

メンドーサ州調査

Lic. Cayetano Fusari (調整, 既存データ解析)

Delegado en Mendoza y Jefe de Centro de Exploracion, SEGEMAR, SSM

(鉱業庁 メンドーサ支所長兼探査センター長)

Geol. Hugo Salvador Mallimacci (既存データ解析, グランドトルース)

Delegacion Mendoza, SEGEMAR, SSM(鉱業庁 メンドーサ支所)

Geol. Eddy Lavandaio (調整, 既存データ解析, グランドトルース) ー前出ー

Ing. Ernesto Ariel LAPIDUS (調整, グランドトルース)

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

(3) 衛星画像解析 (日本国内で実施) , 別冊画像解析報告書作成

- 藤岡 洋介 (写真地質判読, 解析, 報告書作成) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 谷 藤吉郎 (写真地質判読, 解析, 報告書作成) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 大地 正高 (写真地質判読, 解析, 報告書作成) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 小原 賢 (写真地質判読, 解析, 報告書作成) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 武田 進 (写真地質判読, 解析) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 佐藤 哲男 (写真地質判読, 解析) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 俣野 米治 (画像処理) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 飯田 幸平 (画像処理) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 宮石 修 (画像処理) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 鎌田 治郎 (画像処理) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)
- 三箇 智二 (画像処理) 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

(4) 総合解析・東部アンデス地域報告書作成 (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)
- 山本 邦仁 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

1-6 調査期間及び調査量

(1) 事前調査・協定折衝

平成9年(1997年)7月8日(火)~19日(土)

(2) 現地調査

平成9年(1997年)10月6日(月)~12月13日(土)

(既存データ解析・グラントルース)

平成10年(1998年)3月2日(月)~3月20日(金)

(グラントルース)

Table 1-1 Record of the survey

Item	Volume
Analysis of previous data	135 sites (old mine, mineralized site, alteration)
Ground truth	29 sites (including 2 sites of detailed survey)
Samples	250 samples (excluding 86 samples from detailed survey areas)

平成10年(1998年)3月2日(月)～20日(金) (グランドトルース)

(3) 衛星画像解析

平成8年(1996年)12月24日(火)～平成10年1月30日(金)

LANDSAT TM の23シーンの画像処理作成・判読・解析。

(4) 室内試験・総合解析・報告書作成

平成9年(1997年)12月15日(月)～平成10年(1998年)3月25日(水)

Table 1-2 Laboratory test

Item	Number
Microscopic observation	
Thin section	66
Polish	18
Polished thin section	3
X-ray diffraction	62
Geochemical analysis	
Ore grade assay (FA+AA+ICP, 22 elements)	130
Trace level geochemistry (FA+ICP, 32 elements)	122
Bulk chemical analysis (XRF)	18
Stream sediments geochemistry (INAA+ICP, 48 elements)	2,271
Fluid inclusion (Th & salinity)	11
K-Ar Dating	14

第2章 調査地域の地理

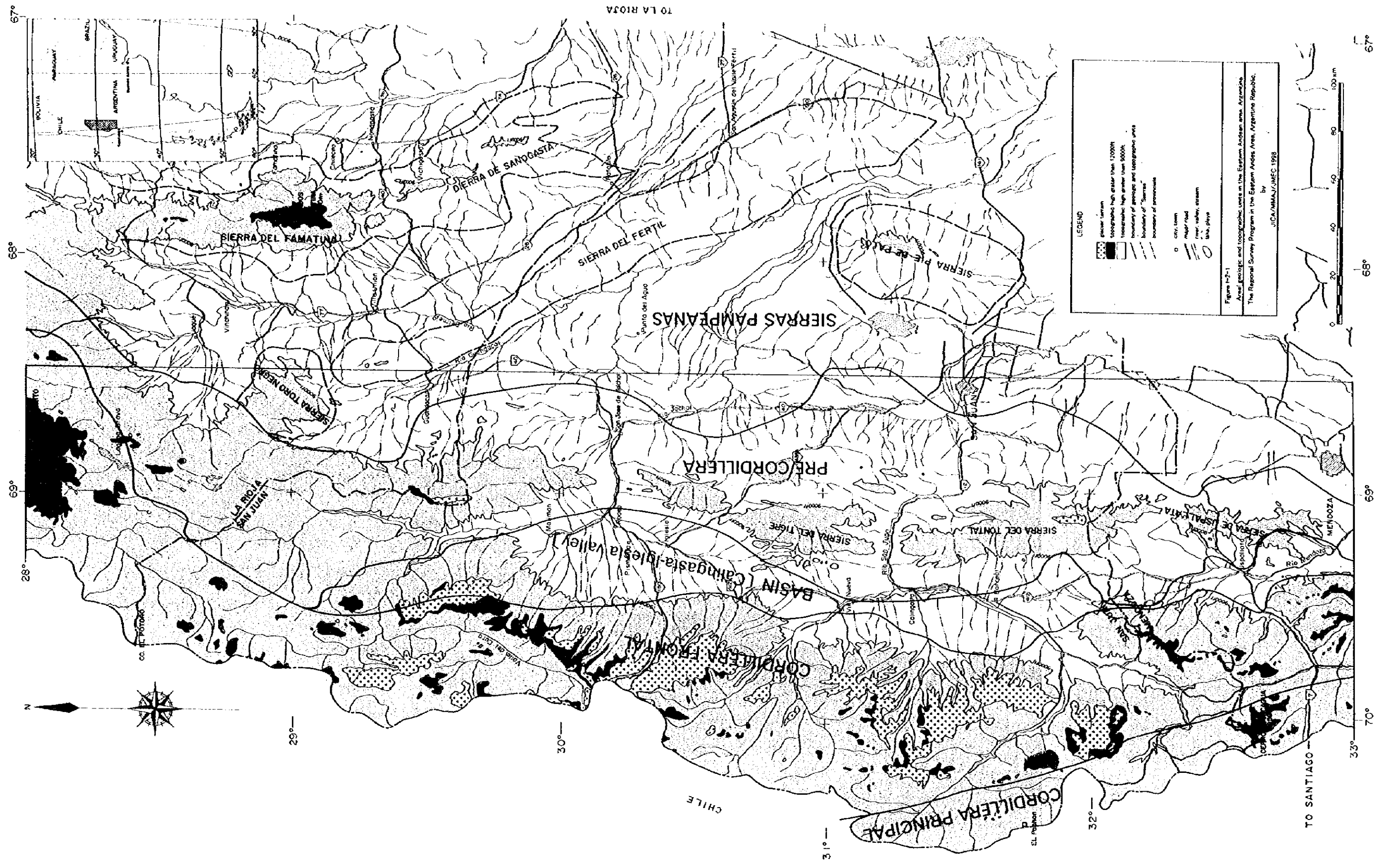
2-1 位置および交通

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)。またサンファンおよび調査地域北東に位置する州都ラ・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道路は全て2車線の舗装道路が利用できる。

これら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パジャータ(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・ベランブレス鉱床、エル・パチョン鉱床に至るルートも調査上主要な導線とみなせる。この場合、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時間の行程である。このほか、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)を経て金鉱床の探鉱プロジェクトが多いヴァル・デ・クラ(Valle del Cura)谷へ至る道路、またラ・リオハ州南東のヴィジャ・ウニオン(Villa Union)からハウエ(Jague)、ブラバ湖(Laguna Brava)を経てコルダ・デ・ラ・ブレア(Corda de la Brea)鉱徴地に至る道路も、特に探鉱上重要な導線である。これらの道路は夏期のみ通行可能で、目的の鉱徴地に至るまでおおむね、まる一日を移動日として費やす必要がある。

なお、調査地域西部の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。国道12号線を除けば、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~1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。



LEGEND

- greater terrain
- topographic high greater than 17000ft
- topographic high smaller than 9000ft
- boundary of geologic and topographic units
- boundary of "Sierra"
- boundary of province
- city, town
- major road
- river, valley, stream
- dam, dike

Figure 1-2-1
 Area geologic and topographic levels in the Eastern Andes area, Argentine
 The Regional Survey Program in the Eastern Andes Area, Argentine Republic,
 by JICA/MMAJ/JMEC 1998

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地域(Pampean Range, Sierras Pampeanas)の4種に分類できる。アンデス脊梁部は本調査地域のおよそ西半分に相当する広い範囲にあたる。この地域の標高は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急峻になる。標高およそ4000m以上の地域では氷河によるモレーン地形が遍在し、5000mを超える部分は万年氷河を頂く。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る堆積盆をなしている。堆積盆の周辺には、かなり開析が進んだなだらかな山稜が分布する。山間盆地の東部にはPre-cordillera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やや急峻な地形を呈するが、岩相による地形の差異が大きく、例えば酸性深成岩類や石灰岩類の場合、特に塊状・ドーム状の切り立った山体を形成する傾向が認められる。この東部に広がるPampean Range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 Jachal)、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、Pampean Rangeに流入する。Pampean 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Pampean Rangeに流入する。地表水はいったんハウエ部落(Jague)、およびグアンダコル部落(Guandacol)の2カ所に収束し、それぞれベルメホ川(Rio Belmejo)、グアンダコル川(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。なお調査地域内には、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)の発達も認められる。

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期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、全体に極めてまばらな植生しか認められない。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。

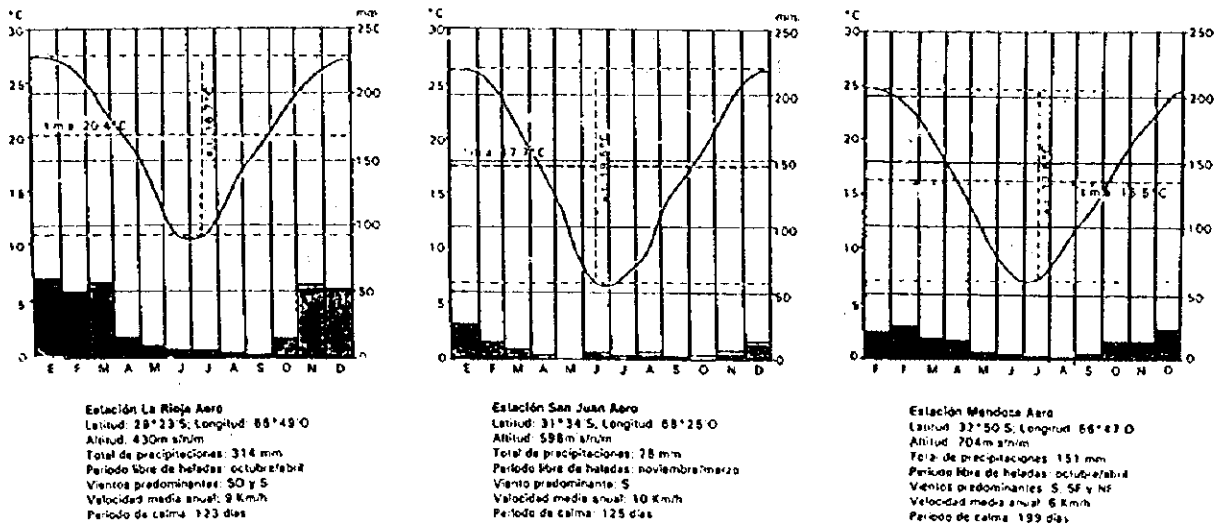


Figure I-2-2 Climatological fact in the city of La Rioja, San Juan, and Mendoza. (after National Mining Secretariat, 1994)

第3章 調査地域の地質、鉱床、鉱業事情

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。また本現地調査による一部の知見も合わせて記載した。

調査地域周辺の地質は、カンブリア紀末期より一貫する西方からの海洋プレートの沈み込みに伴って、時代とともに火成弧、付加帯、あるいは沿海として変遷しながら成熟を遂げてきた。従って、複雑な基盤と火山岩類の関係を部分的に生じながらも、大局的には東方から西方に向かって新しい地層が累重する構造を呈している (Fig. 1-3-1)。ここでは代表的な岩相やその分布について時代を追って記載するほか、地質構造を決定づけた造構運動、火成活動の特徴、堆積環境について最近の研究を中心に紹介する。

(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と呼ばれる構造單元に一致する (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

この構造單元は 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・付加はこの構造單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 と呼ばれる構造單元が分布する (Fig. 1-2-1)。この構造單元は、幅約 100 km、南北約 600 km の狭長な分布を呈し、ラリオハ州 Jaguei 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相当し、

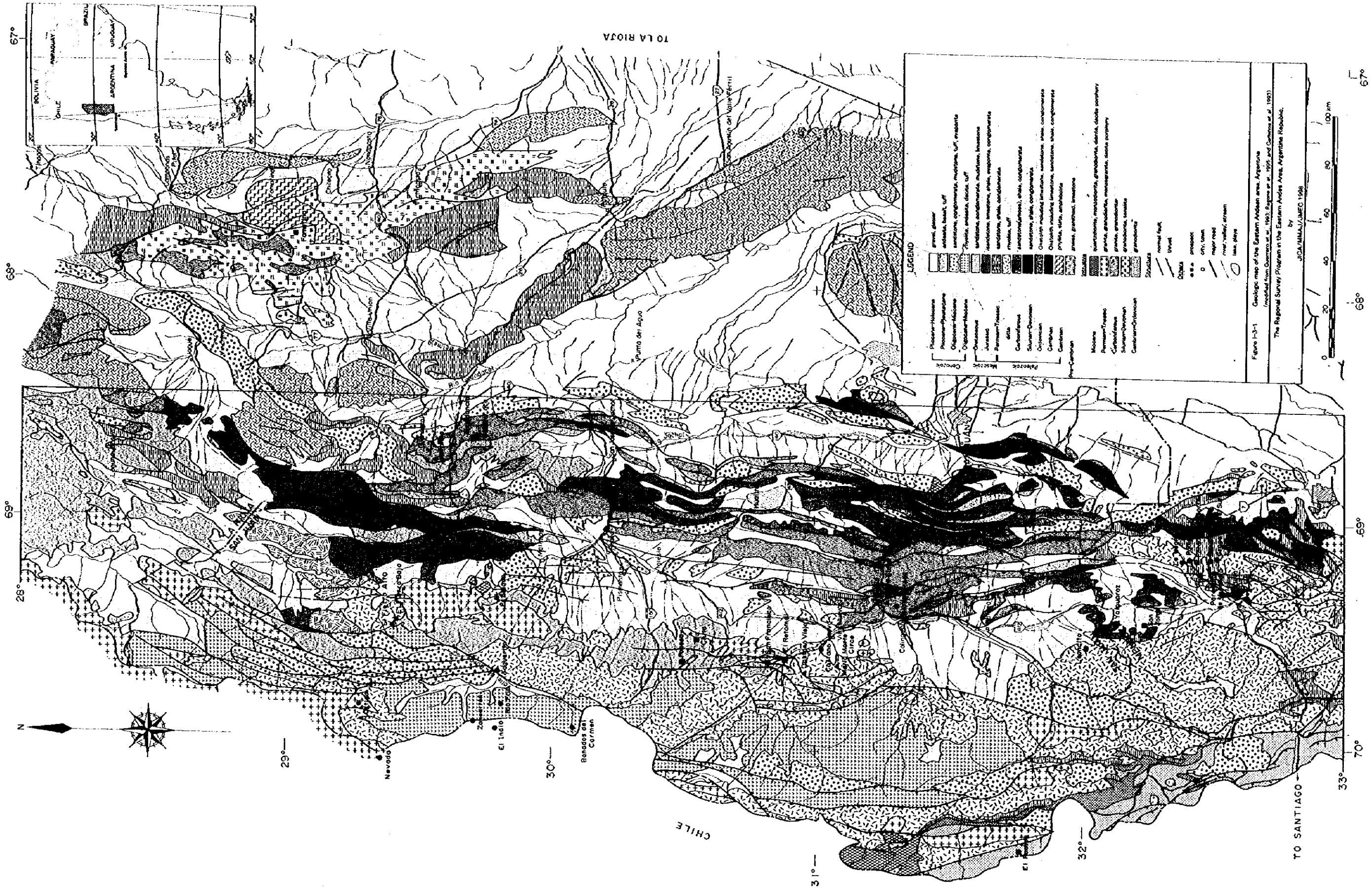


Figure 1-3-1 Geologic map of the Eastern Andean area, Argentina (modified from Gassino et al., 1983; Zappone et al., 1995; and Gassino et al., 1997). The Regional Survey Program in the Eastern Andes Area, Argentina Republic. by JICA/IMMAGI/IMEC 1998

多数の鉄床・鉄微地の胚胎母岩となる。下部古生界は下位より、下部カンブリア系赤色泥岩薄層、下部～中部オルドビス系石灰岩および石灰質堆積岩類、中部オルドビス系砂岩泥岩互層、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 (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、多数の小規模鉄床の”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鉄床の例であり、また Helvecia (Pb, Zn) はオルドビス紀石灰岩に胚胎される Mississippi Valley タイプの鉄床である。

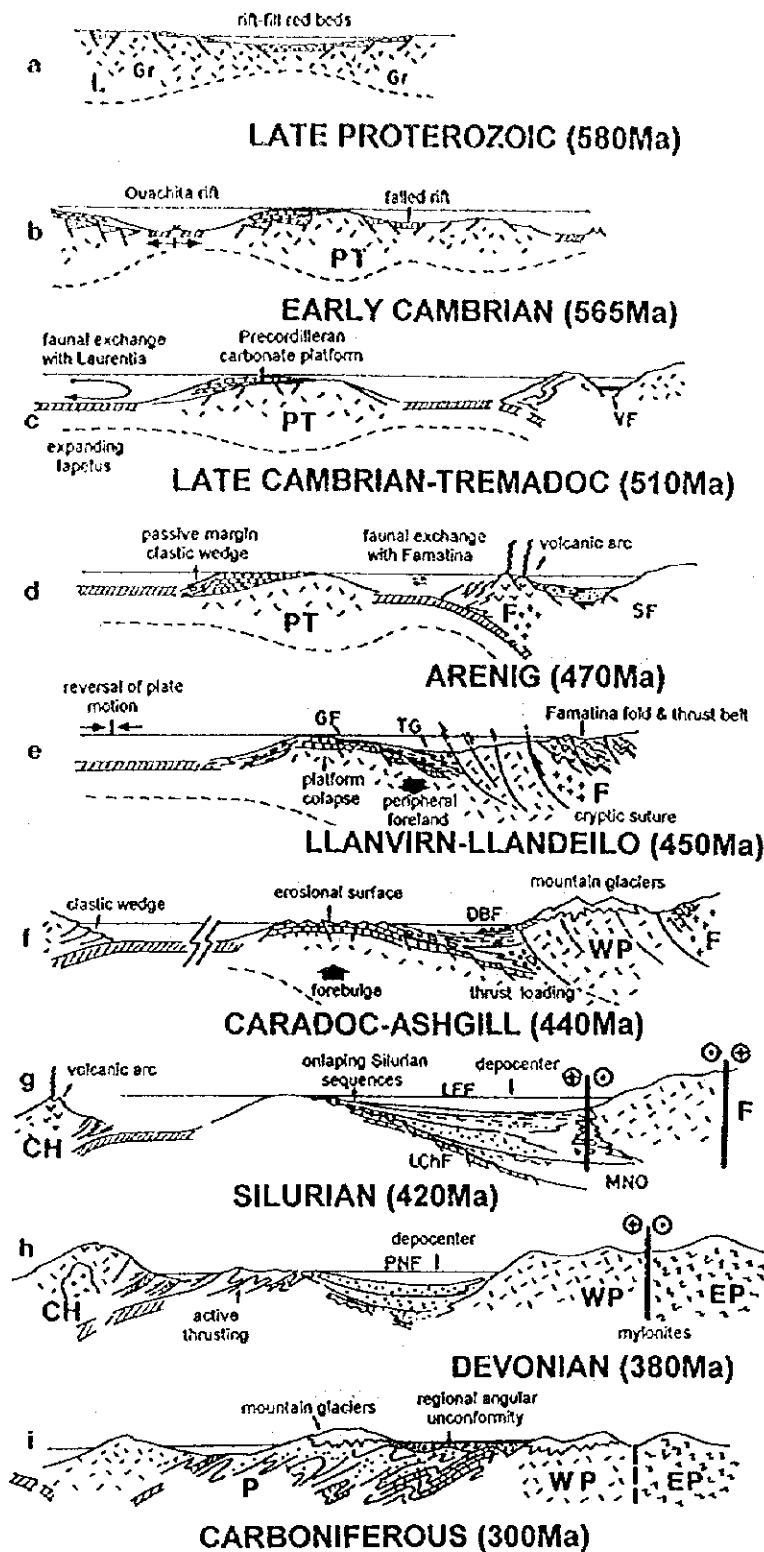
造構環境

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)。なおカンブリア紀からデボン紀にかけて Pre-cordillera が被ったダイナミックな変遷は Famatina orogeny と呼ばれている。

Fig. 1-3-2 に、Astini et al. (1995) による本地域の Pre-Cordillera の造構史を示す。Astini らのモデルは Pre-cordillera の分離と移動、その後の衝突にいたるまでの本地域の地史を体系的に説明しており、現時点で最も詳細に解析された例の 1 つである。

Proterozoic の終わり頃ないし下部カンブリア紀に、Laurentian 大陸東縁に複数のリフトが形成され、大陸基盤直上部にはリフト堆積物として赤色泥岩の堆積が生じたとみられる (Fig. 1-3-2a)。この大陸基盤は現在の Pre-Cordillera 地域に露出は知られていない。この後、前期カンブリア紀頃には本格的なリフトの拡大が始まったとみられる (Fig. 1-3-3b)。

中期～後期カンブリア紀 (Fig. 1-3-2c) にはこの頃進行した海面上昇の影響もあり、Pre-Cordillera 周辺部には厚い石灰岩層が形成された (San Juan 層)。一方、Sierras



Schematic cross sections (not to scale) showing the geodynamic model in which the Argentine Precordillera evolves from a passive margin toward a rifted, drifted, and collided terrane during the early Paleozoic. (a) Initial rifting and opening of the southern Iapetus. (b) Opening of the Ouachita rift and failed rift to the right. Development of passive margin sequences: (c) Precordillera drifting and faunal exchange with Laurentia; (d) continuous drifting and faunal exchange with Celtic and Baltic Provinces and the Famatina volcanic-arc region; (e) collision with Famatina with generation of a peripheral foreland with collapse of the previous carbonate bank. Faulting of the Grenville basement and shortening led to differentiation of the Precordilleran sedimentary successions from its basement (later converted into the western Pampeanas ranges), (f) forebulging, and erosion in central Precordillera. Late Ordovician glacial sediments were derived from western Pampeanas. (g) Approximation of the Chilean terrane, including an active magmatic arc; transcurrent faulting to the eastern border. Silurian sequences onlapping the former dome. (h) Active thrusting due to western approximation of Chilean and generation of deep Devonian graywacke depocenters covering shallow Silurian deposits. (i) Final collisional stage wherein the lower Paleozoic is folded and covered later by glacial Carboniferous deposits. See text for more details. Gr = Grenville basement, L = Laurentia, P = Precordilleran terrane, F = Famatina, EP = eastern Pampeanas, WP = western Pampeanas, CH = Chilean terrane, VF = Volcancito Formation, SF = Suri Formation, GF = Gualcamayo Formation, TG = Trapiche Group, DBF = Don Braulio Formation, LChF = La Chilca Formation, LEF = Los Espejos Formation, MNO = Mogotes Negros olistostrome, PNF = Punta Negra Formation.

Figure 1-3-2 Schematic cross section showing the geodynamic model of the Argentine Precordillera. (after Astini et al., 1995, Fig. 11)

Pampeanas地域では、沈み込む海洋スラブのため、この時期島弧-沿海システムが形成され始めた。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レンジに形成されるとともに、背弧海盆には浅海性の泥岩、砂岩および火砕岩の堆積が進行した (Fig. 1-3-2d)。また同時期には、Pre-Cordilleraの西縁の外洋に面した斜面に沿って、砕屑岩ウエッジが生成し始めた。

引き続き南進するPre-cordilleraがGondwanaに衝突・付加した時期は中期オルドビス紀とされる (Fig. 1-3-2e)。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 (Guandacol造山)。一方、Pre-cordilleraブロック前縁には西傾斜の衝上断層が多数生じたほか、そのやや内側には沈降帯 (peripheral foreland) が形成された。この頃Pre-cordillera周辺の石灰岩の生成は終息し、この沈降帯内部では、石灰岩を不整合に被覆して黒色泥岩層が堆積し始めた。この時期起こった海進の結果、沈降帯はさらに深度を増し、深海性フリッシュ層が石灰岩上に次第に堆積したとされる。また衝突後期にはPre-cordillera西部で歪みの解放 (post-collisional relaxation) が起こり、高角正断層とこれに関わる小規模ベーズンが生成したと考えられている。このベーズンはその後礫岩層により充填された。Pre-Cordilleraの衝突終了後、引き続き作用する圧縮応力のため、新しく西向き沈み込み帯が、西方に位置する大陸プレート (チリの基盤) に対して発生する。この結果、徐々にPre-cordilleraとチリ基盤との間の海が閉ざされていくと共に、チリ側には火山弧が形成されていった (Fig. 1-3-2g)。

シルル紀のPre-cordillera東縁は細粒の浅海性堆積物の分布で特徴づけられる。ここでは、さらなる歪みの解放に伴うベーズンの成長と海進により、沈降帯は徐々に深度を増すとともに、堆積物の流入が進んだと想像される (Fig. 1-3-2g)。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した。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と考えられている (Fig. 1-3-2i)。また上部デボン紀には、チリ基盤がPre-cordillera西縁に衝突・付加したと考えられており、下部古生界全体はしゅう曲などの強い変形を被った。このエピソードをもってFamatina Orogenyは終焉する。

(3) 石炭紀~三畳紀

地質

調査地域の石炭系から三畳系は、浅海、半遠洋 (hemipelagic)、および陸源の堆積岩層と、主として二畳紀から三畳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して現れる。一方、西側の列は上部石炭紀～下部二疊紀のAgua Negra層に相当し、Jaguc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、石灰岩を主体とする。

二疊系～三疊系の堆積岩類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。岩相は石炭系と類似するフリッシュ堆積物であり、砂岩、泥岩、礫岩から構成される。

調査地域の二疊期～三疊紀にかけて活動した大量の酸性火成岩類はChoiyoi groupと一括して称され、およそ西経69度30分から西方に分布する(Fig. 1-3-1)。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る。火山岩類の層厚は2000m程度と見積もられており、部分的にはカルデラ構造が残存する。深成岩類は花崗岩ないしモンソ花崗岩を主体とし、しばしば細粒かつ微文象組織を伴う浅所貫入の組織を呈する。

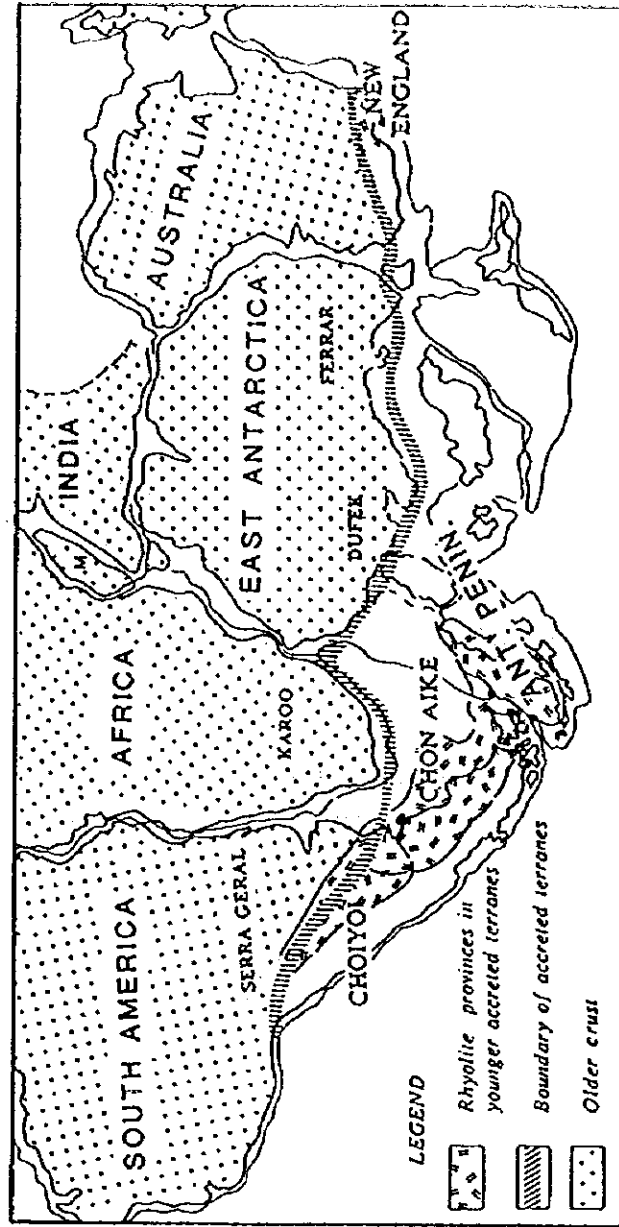
調査地域にはChoiyoi groupの活動に伴って生成した金属鉱床が知られており、San Juan州Calingasta北西のTocota地域には花崗岩類に伴って、ピスマス-銅-タングステン-砒素の鉱微が分布する。またCalingasta東部のAlcaparossa、およびSan Juan州Uspallata北西のSan Jorgeらのポーフィリー銅鉱床の生成年代はChoiyoi groupの活動期に一致する。

造構環境

石炭紀から三疊紀の間、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、パタゴニアのChon Aike地域 (三疊紀上部～ジュラ紀)、南アフリカの南西部、南極大陸、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生じた。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-アルカリ質の花崗岩類が形成された。

この後、二疊紀から三疊紀にかけて、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)。なおこれら二疊～三疊紀



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 Daiziel et al., 1987).

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

火成岩類の岩石学的特徴は、伸長テクトニクス下で生じた地殻溶融物であることを示す (Kay et al., 1990)。

(4) ジュラ紀(Jurassic)～第三紀(Tertiary)

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10km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。一方、ポーフイリー岩株などの貫入岩の場合、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

イン〜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100~80Ma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、東落としての衝上断層を伴って隆起し、チリのAntofagasta東方に分布するDomeyko Protot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。

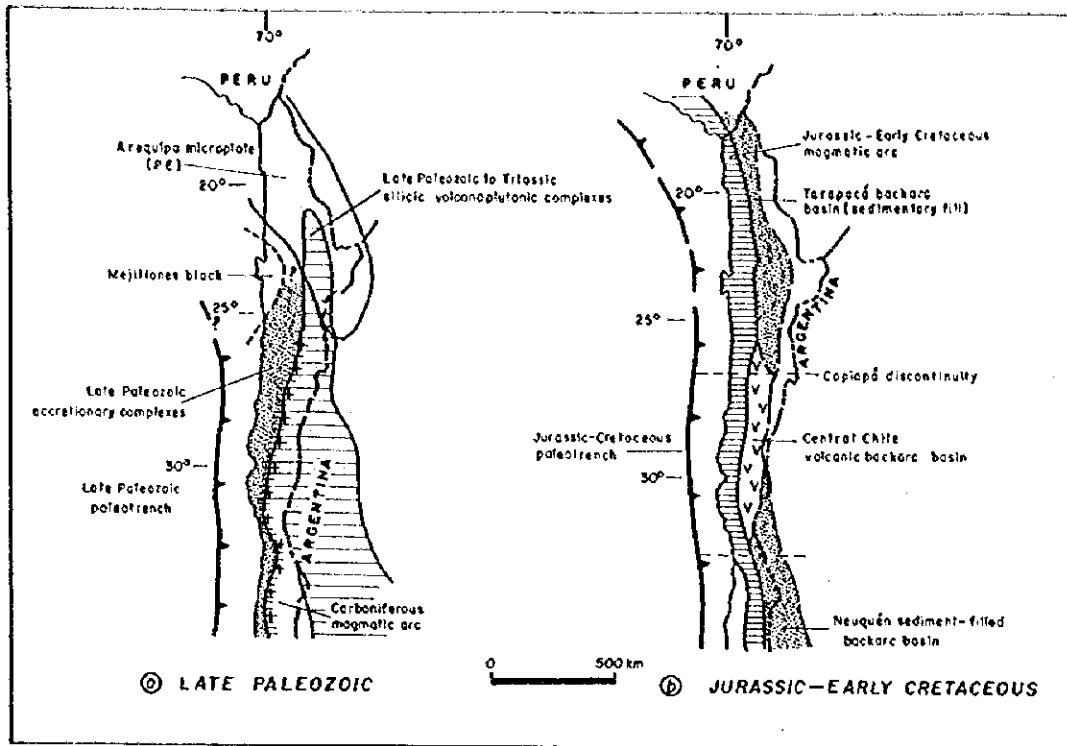
古第三紀暁新世から始新世にかけての時期、およそ70Maころからプレートの収斂が急速に早まり、年間100mm以上の収斂速度に至ったと推定されている。この結果、陸域では活発な火山活動が生じ、中小規模のボーフィリー型鉱床のほか、これらのadvanced argillic capである大規模酸性変質帯が多数生成した (Fig. 1-3-5c)。

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50mm/year以下と鈍化した。この結果、火山活動は沈静化し、41~31Maに貫入したボ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。チリの大規模ボ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)。

第三紀中期〜後期にはプレートの収斂速度は再び早まり (>110mm/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らのボーフィ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35km)、火成岩のREE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。

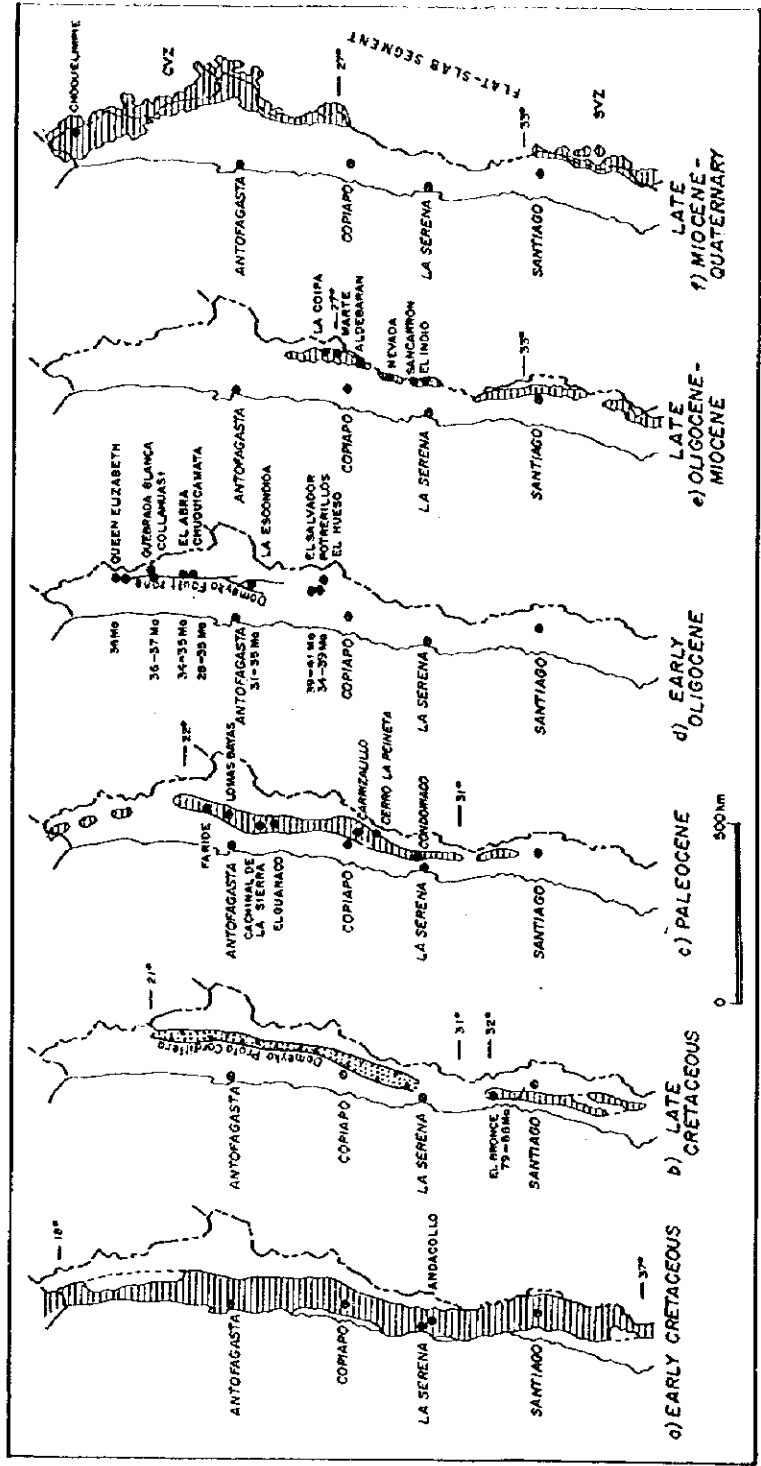
その後中新世後期にかけて、チリ型沈み込みに伴う大きな圧縮応力の結果、大陸地殻は衝上を伴って水平方向に徐々に短縮・高厚化する。18Ma頃にはスラブの沈み込みは地域により差別的に進行し始め、調査地域を含む南緯27度から33度の範囲では、沈み込み



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).

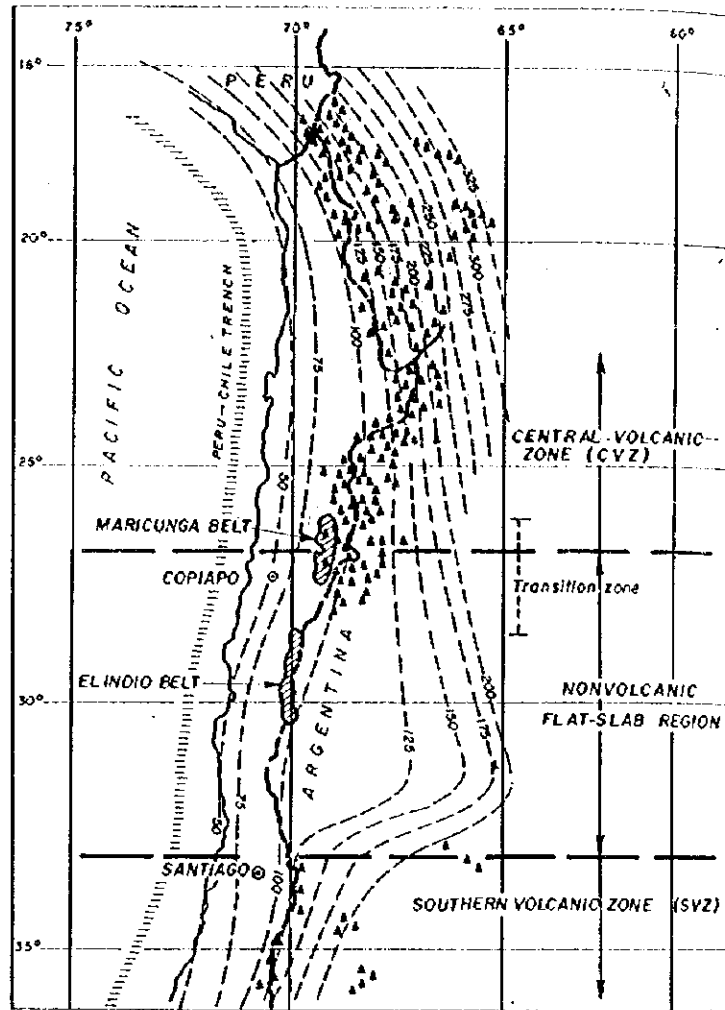
Figure I-3-5 Mesozoic and Cenozoic magmatic arcs in northern and central Chile, including extremely western part of Argentina. (after Davidson and Mpodozis, Fig. 2)

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 EE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。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)。



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)

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・鉱徴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. 1-3-1)。

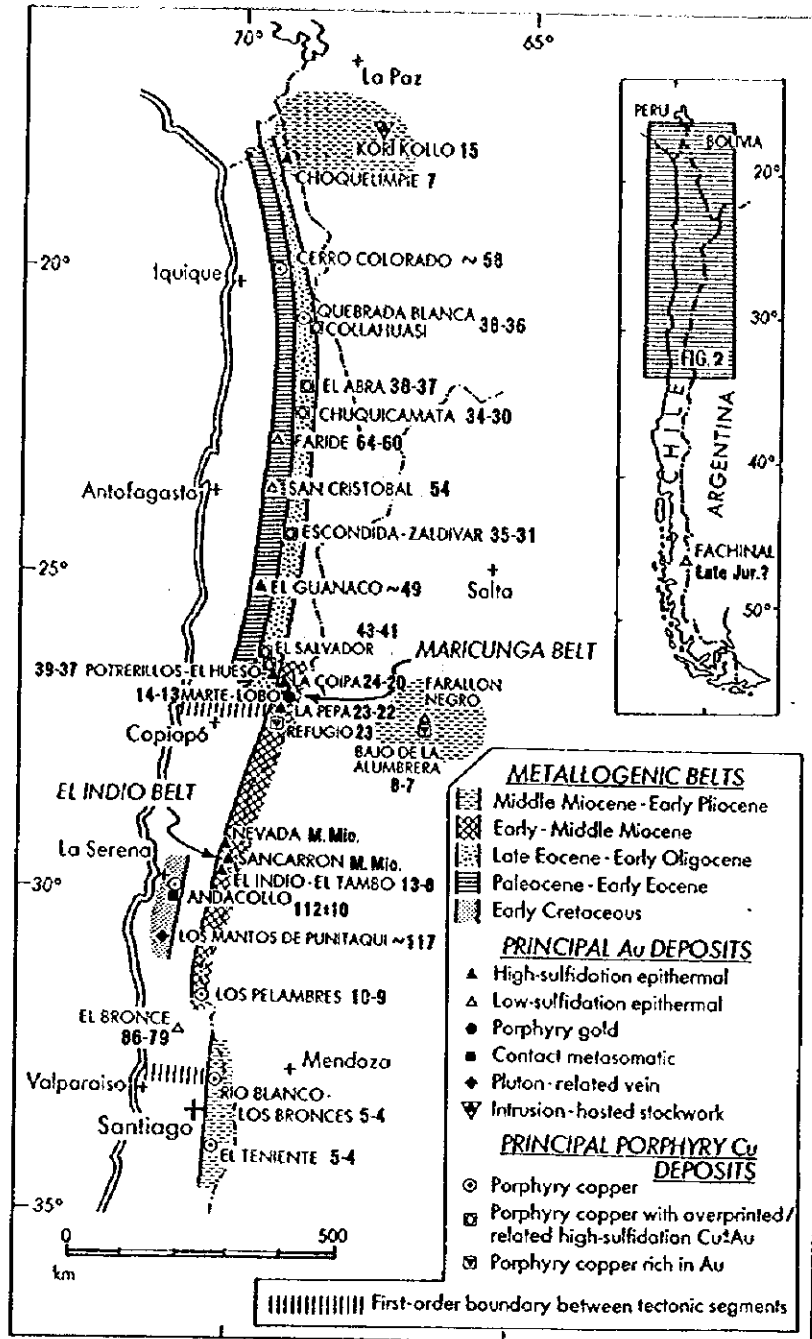
(1) ポーフイリー型銅鉱床

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. 1-3-7)、(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 Famatina 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新し、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 (例えば Paramillos-San Jorge Bell, Castano Nuevo Bell など)、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ことが窺える。

本地域の鉱床の大多数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 Choiyoi group に伴って生成している (San Jorge, Yalguaraz, Alcaparrosa)。こ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。

本調査地域の鉱床分布を概観すれば、ポーフイリー金・銅鉱床は、衛星画像解析から規定された Mendoza Line (Fig. 11-4-1) と呼ばれる北西系の構造線の以南に多数が分布するほか、Villa Nueva 周辺から北方にかけての地域にも多い。また地域西部の酸性硫酸塩型



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)

金鉱床の鉱床区として注目されるEl Indio Bell (Fig. II-4-1)もまた比較的剝離レベルが浅いポーフィリー鉱床区とみなせる。

Mendoza Lineの南部のポーフィリー鉱床区は、主要な鉱床分布域として東部と西部の2カ所を識別できる。地域東部、Mendoza州Uspallata周辺には、アルゼンティンで最初に発見されたポーフィリー銅鉱床であり、カナダNorthern Orion所有のGrupo Minero Aconcagua社が調査を計画するParamillos Sur (186百万t, Cu:0.58%, Au:0.06-0.42g/l)、同じくGrupo Minero AconcaguaによりPre-FSが行われるSan Jorge (146百万t, Cu:0.5%, Au:0.2g/l, Ag:3.5g/l)、およびYalguaraz (Cu, Au)らが分布する。Paramillos地域の鉱化状況は次章でのべる60年代のPlan Cordillerano調査で明らかにされたものであるが、いずれも現在に至るまで本格的な探鉱には至っていない。最近まで鉱区保有権を巡る係争が続いていたが、97年9月に鉱業権は個人に送られることで決着した。最も注目されるParamillos Surについては、紛争解決後、個人とGrupo Minera Aconcaguaとの間でJV調査が行われることが決定したところである。なお、Mendoza line 南東部の地域にはParamillos Norte, Leoncitoらの比較的探鉱がなされていないポーフィリー金・銅鉱微地も分布する。

一方、Mendoza lineの南西部、チリとの国境地帯には、カナダCambiorらによるEl Pachon (Cu, Mo)プロジェクトが位置する。同鉱床は現在アルゼンティン最大のポーフィリー鉱床と目されており、96年にはPre-FSの成果がいったん報告された。Cambior社のweb siteによるEl Pachonプロジェクトの詳細は次のとおり。

Reserves

Mining Reserves	687 million tonnes (proven and probable)
Grade	Cu: 0.63%, Mo: 0.014%
Waste to ore ratio	0.43:1
Cut-off grade	0.4%

Prefeasibility Study

Mining method	open pit
Mining capacity	40,000tpd, 60,000tpd from the 8th year
Metallurgical test	Copper recovery 92%
	Molybdenum recovery 72%
	Copper concentrates 28%
	Molybdenum concentrates 45%
Operating plan	111 million tonnes at 0.92%
(first 7 years) Waste ore ratio	1.8
	Annual production 135,000 tonnes Cu
	Production cost \$0.57 pound Cu

Construction target:	1998, Anticipated production year: 2000
Capital expenditure	\$500 million
Mine life	35 years

なおMendoza line 以南のチリとの国境地帯にはEl Pachonのほかにも, Yunque, Cerro Mercedarioらの有望鉱徴地が存在する。

Villa Nuevaの北部に分布するポーフイリー鉱床としては, Battle Mountain GoldとBHPのJVプロジェクトであるQuebrada de Chita (Cu, Au, Mo), Western Mining ArgentinaによるLa Poposa (Cu, Au), 米国Crown Resourcesの現地子会社であるSolitario社によるSan Francisco de Los Andes (別称Cerro Negro, Cu, Au), カナダ・SONOMA Resources社によるEl Retamal (Au, Cu, Mo)らがある。これらのプロジェクトはSolitarioをのぞいて調査結果についてほとんど公表されていない。

(2) 金鉱床

調査地域に分布する金鉱床あるいは金鉱徴地のほとんどは, 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 argillic変質に伴って生成する鉱床である。アルゼンティン東部地域の場合, 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 Belt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 Beltは調査地域北部のMaricunga Belt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, その後の剝削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 Beltのアルゼンティン側は, 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, Western Mining ArgentinaによるRio Frio (Au, Ag), およびZancarron (Au, Ag, Cu); Barrick Exploraciones de ArgentinaによるLa Ortiga (Au, Ag), Banados del Carmen (Au, Ag); Mina Penoles de ArgentinaによるJaguelito (Au, Ag)らがある。このような大企業による探鉱プロジェクトの場合, 調査結果について公表された資料は現在のところほとんど無く, 詳細はよくわかっていない。なおEl Indio Belt以外では, サンファン州Villa Nuevo近傍に分布するCastano Nuevo鉱徴地 (Au, Ag: SONOMA Resourcesにより探査実施中)が同タイプの金鉱徴地として知られている。

ポーフイリー銅鉱床の近傍に発達する中熱水性金鉱床は一般に幅1m以下の狭長な鉱脈として産する。脈は多量の黄鉄鉱を伴う石英脈であり, 様々な量比の黄銅鉱を伴う。この

タイプの鉱床はいずれもadvanced argillic変質を周辺に欠いており、ポーフイリーシステムのより深部に相当すると考えられる。このタイプの金鉱床はメンドーサ州Uspallata部落北西の中期～後期中新世(?)のポーフイリーシステムの周辺にまとまって分布しており、La Negrita (Au, Ag: Minera cordillerana), Grupo Oro del Sur (Au, Ag: 個人鉱区), Pampa Fria (Au, Cu: Argentina Mining Development)らを代表例とみなせる。これらの金鉱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鉱化した酸化部についてのみ採掘が行われた。酸化帯では褐鉄鉱に伴って「とじ金」が観察でき、この部分が手選されたといわれる。これらの鉱床タイプに対しては全体にジュニアカンパニーによる小規模の探鉱が実施されているのみで、現在のところ大資本の参入は無い。

本地域の石灰質堆積岩に胚胎される鉱染型金鉱床（いわゆるカーリン型金鉱床）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カ所の調査地区でAu: 0.4~5.2g/lの分析品位を得た（Moguilner et al., 1985）。このような研究者による調査のほか、Angro American社による広域的な探査プロジェクトが80年代中頃からSan Juan層に対して実施された。Igreccia南東のSan Juan層に胚胎するHualilan (Au, Ag) 鉱床の場合、新第三期のポーフイリーデイサイト貫入岩の上盤石灰岩に岩相境界に調和的な板状鉱体を産し、この周辺に鉱染状の金鉱化作用が発達するとされている。同社は88年から物理探査と試錐を実施したが、結局撤退した。また同社はこの調査に平行して、ラ・リオハ州Guandacolの南西のSan Juan層で小規模スカルン鉱床を対象に調査を行なった。ここでは大小の石灰岩ブロックが第三紀花崗岩上のルーフペンダントとして分布しており、石灰岩側にSalamanca-Abundancia (Cu, Au)らの鉄・銅系スカルン鉱床が生成している。Hualilanと同様に数本の試錐調査後、同社は東部アンデス地域のSan Juan層から89年頃撤退し、その後バタゴニアのSanta Cruz地域の調査に移行した。この間のAnglo Americanによる調査結果の詳細は不明であるが、現在も引き続き、HualilanについてはカナダのPlata Mining社により、またSalamanca周辺については同じカナダのMinas Argentina社により、鉱染型金鉱床の調査が継続されている。

(3) 鉛・亜鉛鉱床

東部アンデス地域に分布する鉛亜鉛鉱床は、調査した範囲では、その産状から浅熱水性鉱脈型鉱床とミシシッピバレー型鉱床の2タイプが認識できる。鉱脈型鉛・亜鉛・銀鉱床としては、北よりサンファン州Rio Blanco沿いのLas Carachas Mine (Pb, Zn, Ag), 同Igreccia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Maria Marla Circe (Pb, Zn, Ag), 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30cm~2m程度の約

30条の鉛脈について、40万tの粗鉛 (Ag: 250g/t, Pb: 2%, Zn: 3%)が採掘された。埋蔵鉛量は120万tといわれる (SM Lavandao氏聞き取り)。鉛脈は方鉛鉛・閃亜鉛鉛・黄鉄鉛・黄銅鉛のほか、四面銅鉛、菱鉄鉛、菱マンガ鉛、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。周辺の鉛床分布や鉛脈の鉛物組み合わせから、これらの鉛脈型鉛・亜鉛鉛床の多くはポーフリーシステム周辺部の浅熱水環境で生成したものと考えられる。調査地域のこのような鉛床は、いずれもかつて小規模に採行された実績があるものの、現在のところ企業探鉛の対象とはなっていない。なお、これ以外の鉛脈型鉛床として、サンファン州のSanta Elena鉛床がある。この鉛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に胚胎する鉛脈鉛床であるため、海洋底生成のキプロス型鉛床との見方がある (National Mining Secretaria, 1994)。一方、同鉛床はAlcaparrosaポーフリー鉛床の周辺に位置しており、ポーフリーシステムの周辺相ともみなせ、今後鉛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鉛床は、調査地域にみられる唯一のミシシッピバレー型鉛床である。同鉛床は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・亜鉛鉛石 (Pb: 35%, Zn: 32%) と重晶石を出鉛した。鉛床はオルドビス紀San Juan層の下部に発達する角礫基質に生成し、粗粒な閃亜鉛鉛・方鉛鉛・重晶石からなる。鉛床に直接する結晶質石灰岩にはスカルン化、珪化、あるいは黄鉄鉛の鉛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鉛床とみなせる。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鉛床である可能性が高いと考えられる。Helvecia鉛床については96年からラリオハ州の鉛業公社であるYAMIRI-SEMとカナダのPlata MineralsによるJV探鉛が行われており、現地調査を行った97年秋の時点でPhase I探鉛がいったん終了した模様である。調査結果については不明である。

3-3 既往調査の概要

(1) 鉱物資源調査開発計画

東部アンデス地域で最初に導入された組織的調査は1963年9月に着手された"Plan cordillerano"と呼ばれる広域基礎調査である。この調査はアルゼンティン政府と国連開発計画(United Nations Development Program: UNDP)によるJV調査であり、当時注目されたアンデス山系のポーフイリー銅鉱化作用の賦存可能性を把握することを目的として実施された。調査範囲は南緯31度41分から東部アンデス地域を越えて南緯40度におよぶ合計140,000km²である。この調査のため国連から計画統括者、地質、物理探査専門家など7~8名の協力を得て、陸軍工廠(Dirección General Fabricaciones Militares: FM)が調査本部をメンドーサに設置してこの計画実施に着手した。UNDPおよびFMらは、サンファン、メンドーサ、およびネオケン(Neuquen)の各州にまたがって、空中写真解析、地化学探査、地質調査、電気探査、ボーリング調査を実施し、1966年12月にいったん第1ステージの調査を終了した。この間に約21,000個におよぶ沢砂試料(分析元素Cu, Pb, Zn, Mo)が採取されたほか、掘進長13,857ftのコアボーリング、写真地質学的解析、地質学的考察が行われた。この解析結果に基づき、全調査地域から55カ所の有望地区が抽出され、当初調査面積の約10%にまで調査対象の絞り込みが進んだ(Fig. 1-3-8)。本調査を通じて得られた最大の成果は、これまでアルゼンティンに存在が知られていなかったポーフイリー銅鉱化作用を発見したことである。第1ステージ調査の終了後、ただちに"Plan Perforaciones"と呼ばれる第2ステージの調査へと移行した。第2ステージの調査では有望地域の詳細把握を目的にボーリング主体の調査が実施され、1968年6月まで続けられた。第2ステージ調査の結果、このうち33地区の鉱徴地に経済性が期待できること、また、うち7地区の鉱化作用は明らかにポーフイリー型鉱化作用と認識できることが報告され、それぞれの鉱徴地につき3段階の有望性評価が与えられた(Fig. 1-3-8)。本調査はこれまでほとんど鉱物資源に関する情報が無かったアルゼンティン側アンデスについて、包括的にまとめられた最初の例であり、ここで発掘されたアルゼンティン東部地域の有望地区の中には、Yalguaraz, Paramillos Norte, Paramillos Sur, Rio de las Vacas, Leoncito, Cerro Mercedario(以上最も有望とされるAランク地区)らの重要地区が含まれている。なおアルゼンティン政府とUNDPによる第1および第2ステージの一連の調査は、現在では一括して"Plan cordillerano"と称される場合が多い。

一方、これら一連の鉱物資源調査開発計画に平行して、鉱業庁(Subsecretaría de Minería: SM)は1966年4月より1970年9月にかけて、ラ・リオハ州全域を対象に"Plan cordillerano Norte"という計画名で調査を行なった。SMは1:50,000の空中写真123枚のモザイクを作成し、野外調査を実施、ラ・リオハ全州の1:250,000地質図を完成させた。またこの調査を通じ、総数10000個以上の沢砂試料が採取された。

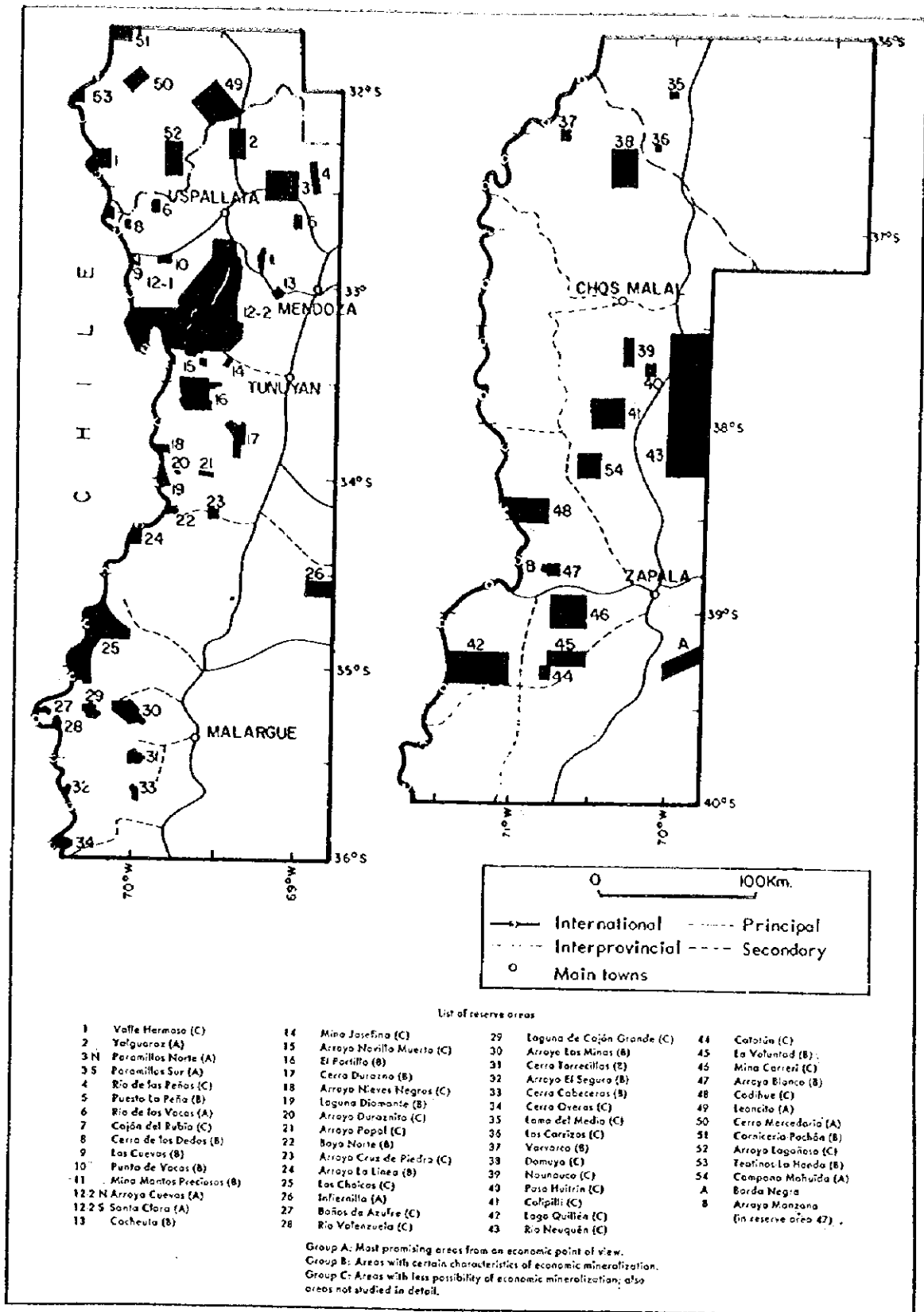


Figure I -3-8 Location of the reserved areas by the UNDP surveys. (after UN, 1970)

東部アンデス地域を調査対象とする広域基礎調査はこの"Plan cordillerano", "Plan cordillerano Norte"を最後に近年まで行われなかった。アルゼンティン政府は90年代から再び鉱物資源開発への意欲を高め、とくに外国投資の活性化を計る目的で投資環境の整備を計った。これに呼応する形で米国、豪州らによる協力調査が近年実施されている。90年代に実施された東部アンデス地域関係の基礎調査は、衛星画像解析や空中物理探査といった新たな手法によるものである。

(2) 米国による協力調査

アルゼンティン政府と米国政府の協力調査は、1992年8月から93年8月の1年間実施された。調査は"Plan cordillerano"調査範囲の北、南緯27度から31度のアンデス地域を対象とするもので、カタマルカ、ラ・リオハ、サンファン州の3州が含まれている。調査は特に金鉱床の賦存状況を意識したものであり、この点でもPlan Cordilleranoと違いがある。調査にあたっては米国のTDA(Trade and Development Agency)が窓口となり、Norwest Mine Services, Incが受注して実施した。Norwestらは、有望地区の抽出にあたって、5シーンのランドサット画像を用いて地質構造および変質帯分布を把握し、有望地区を抽出、これに対してグラントルースを行なった。グラントルースは、画像解析から抽出された13カ所の変質帯のほか、グラントルース段階で新たに把握した8カ所を加えた計21カ所について実施され、岩石51試料が採取された。調査の結果、アルゼンティンのポーフイリーシステムは、銅よりもむしろ金鉱床としての発展が期待されること、鉱床分布は顕著な構造規制を被り、特にリニアメントの交差部が探鉱上重要であることを指摘した。また、具体的な有望地域としてサンファン州Villa Nuevo北西のCastano Nuevo地域、および同州のチリとの国境地帯に位置するVeladero-Guanaco地域を抽出した。

(3) 空中物理探査

東部アンデス地域における航空機を用いた磁気探査は、ごく最近導入され始めたばかりで、現時点では調査結果の利用は困難である。空中磁気探査はアルゼンティン政府によるPASMA Project(次章)による調査、豪州地質調査所の協力による調査、チリ・CODELCOによる調査がそれぞれ実施ないし計画されている(Fig. I-3-9)。

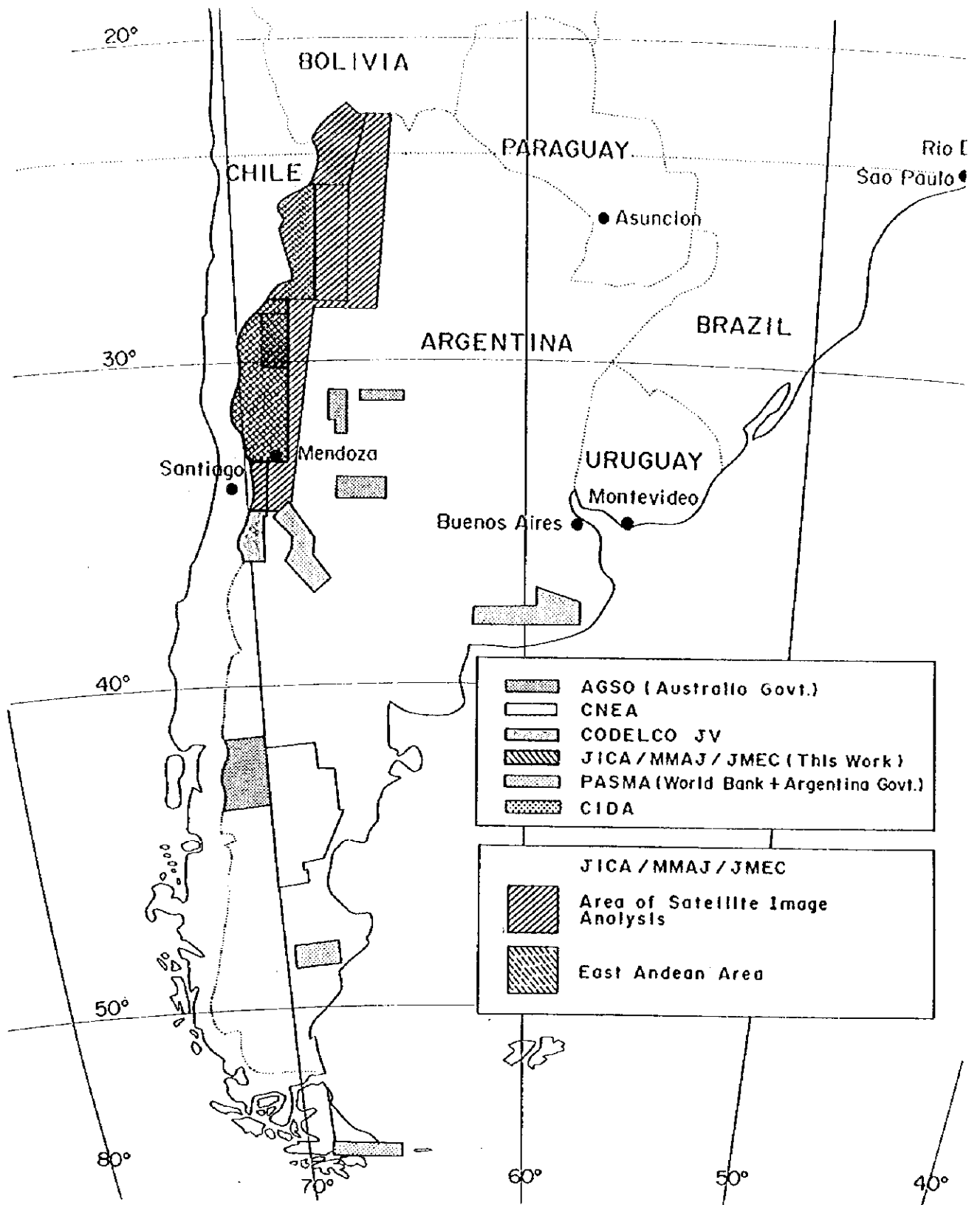


Figure I -3-9 Survey area of recent cooperation program operated in Argentina.

3-4 アルゼンティンの最近の鉱業事情

近年のラテンアメリカ諸国の資源政策は、外資に対して極めて開放的な投資環境作りを目指して進展してきている。この政策転換の波はアルゼンティンにも及び、1993年と1995年の二度に渡って外資参入の促進を目的に鉱業法などの大幅な見直しが行われた。新鉱業法の下では外国法人の100%の鉱業権取得を認めること（ただし代理人の現地駐在が必要）、各州ロイヤルティーの上限（3%）を定めることなど、従来の外国企業にとっての参入障壁が見直されており、この結果、同国の鉱物資源賦存ポテンシャルは世界の金属鉱物資源関係者に大きく注目されることとなった。現在まで同国の、特にチリとの国境付近の地質情報の集積が比較的少なかったこともあいまって、いわば最後のフロンティアとして、北米、豪州の鉱山会社らの脚光を浴び、競って探査・開発に着手されているのが現状である。

このような鉱業法の見直しに加えて、鉱山開発を促進する環境整備も進んでいる。チリとの国境地域に偏在する金属鉱物資源の開発を促進する目的で、チリとの国境協定が97年12月に合意に至った(Appendix 3)。現在両国国会の批准を待っている状況であるが、施行後はアルゼンティンの生産物を太平洋側に運送することが可能となり、鉱石の運搬コストに大きな影響を与える。また探査・開発にあたってのロジスティクスについてもチリ側インフラの利用が可能となり、一層の鉱業投資が期待される。同協定締結後に着手が予定される大規模探査プロジェクトも既に顕在化している。例えば国境付近に位置するチリのネバダ鉱床の場合、周辺変質帯はチリ側よりもむしろアルゼンティン側に広く分布しているが、ロジスティクスの点でチリ側からのアクセスが有利であり、協定締結後はネバダ鉱山を操業するBarrick Gold社の大規模な探査が展開される予定である。

このほかの投資環境整備として、アルゼンティン共和国政府が進めるPASMAプロジェクトがある（総額 US\$ 40 million, 負担割合 世銀:ア国 = 75:25）。これは包括的な政策パッケージであり、法体系の整備のほか、政府・州政府の地質鉱山機関の強化、鉱業権および基本地質情報の管理体制の刷新を目的としている。鉱業権および地質情報の管理にあたっては、具体的には、現在州政府ごとに管理される各種情報を一定のフォーマットの下データベース化し、政府レベルおよび州政府レベルの各種鉱山機関でコンピューターネットワークを通じて共有化・オープン化を計ろうとするものである。これにより鉱区を管理する州政府機関と地質基本図作成を担う連邦政府機関とのより緊密な連携が可能になるほか、外資にとっては、鉱区情報などの素早い情報収集、より透明度の高い管理・運営が、新システム導入を通じて期待される。現時点では使用するソフトウェア、データベースのフォーマットについておおむね決定された模様であり、今後入力すべき具体的なアイテムについて選定が行われる。PASMAプロジェクトは現在第2期の工程が進行中で、ラ・リオハ、サンファン、メンドーサなどを含む6州について実施されている。

このような投資環境の総合的な改革の結果、アルゼンティンの鉱業事情は著しく進展し、1988年には外国企業4社が進出しているに過ぎなかった市場も、96年4月の時点で60社をこえる企業の探査・開発プロジェクトが進行中であるほか、さらに50社が投資の動きを見せるほどに活況を呈している。なお最近のアルゼンティンの投資環境の変化やPASMAプロジェクトの詳細については、JICA/MMAJ/IMECによる平成8年度資源開発協力調査プロジェクト選定調査報告書・アルゼンティン共和国（和文）が詳しく扱っており、こちらを参照されたい。