

ペルー共和国ペルー南部地域  
資源開発協力基礎調査報告書

(最終報告書)

平成 14 年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱調資
JR
02-053

## は し が き

日本国政府はペルー共和国政府の要請に応え、同国の南部地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、既存データ解析及び衛星画像解析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12年度を第1年次とする第2年次にあたり、金属鉱業事業団は1名の調査団を編成して平成13年10月18日から平成13年11月21日まで既存データ及び衛星画像の現地解析のため現地に派遣した。現地調査は、ペルー共和国政府機関、エネルギー鉱山省地質鉱物冶金研究所の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は第2年次の調査結果をとりまとめたものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたペルー共和国政府関係機関ならびに外務省、経済産業省、在ペルー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14年3月

国際協力事業団

総 裁 川 上 隆 朗

金属鉱業事業団

理事長 田 代 直 弘

資源開発協力基礎調査報告書  
(第2年次)

目 次

は し が き  
目 次  
要 約  
調査地域位置図

第 I 部 序 論

第1章 調査概要

1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 第2年次調査の範囲及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	2
1-4 調査期間及び調査量	2

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通	5
2-2 地形及び水系	5
2-3 気候及び植生	5

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既往調査の概要	7
3-2 地質概要	7
3-3 既知鉱床・鉱徴概要	11

第 II 部 各 論

第1章 衛星画像解析

1-1 解析の目的	13
1-2 画像処理	13
1-3 画像判読	32
1-4 GISデータの解析	71
1-5 考 察	75

第2章 既存データ解析	
2-1 解析の目的	81
2-2 地質	81
2-3 地質構造	95
2-4 鉱床	99
2-5 考察	115
第3章 総合解析	119

### 第 III 部 結論及び提言

第1章 結論	125
第2章 将来への提言	129
参考文献及び収集データ	131

#### 【挿入図目次】

第1図	調査地域位置図
第2図	地質概略図及び地質構造概略図
第3図	衛星画像解析範囲図
第4図	JERS-1 SAR モザイク画像
第5図	LANDSAT TM モザイク画像
第6-1図	LANDSAT TM 比演算解析画像1 (酸化鉄帯抽出結果)
第6-2図	LANDSAT TM 比演算解析画像2 (粘土化帯抽出結果)
第7図	地質単元区分図
第8図	リニアメント解析図
第9-1図	Chuquibamba 図画 (32-q) JERS-1 SAR 画像
第9-2図	Chuquibamba 図画 (32-q) LANDSAT TM 画像
第9-3図	Chuquibamba 図画 (32-q) TM 比演算画像
第9-4図	Chuquibamba 図画 (32-q) 地質単元区分図
第9-5図	Chuquibamba 図画 (32-q) リニアメント図
第10-1図	Orcopampa 図画 (31-r) JERS-1 SAR 画像
第10-2図	Orcopampa 図画 (31-r) LANDSAT TM 画像
第10-3図	Orcopampa 図画 (31-r) TM 比演算画像
第10-4図	Orcopampa 図画 (31-r) 地質単元区分図

- 第 10-5 図 Orcopampa 図画 (31-r) リニアメント図
- 第 11 図 リニアメント密度分布図
- 第 12 図 リニアメント・ローズダイヤグラム
- 第 13 図 模式地質層序図
- 第 14 図 ペルーの鉱床生成区
- 第 15 図 既知鉱床・鉱徴地分布図
- 第 16 図 解析結果総括図

**【挿入表目次】**

- 第 1 表 現地調査団
- 第 2 表 調査期間
- 第 3 表 調査数量
- 第 4 表 使用衛星画像データ
- 第 5 表 地質単元総括表
- 第 6 表 鉱床・鉱徴地一覧表
- 第 7 表 鉱床母岩・鉱種・鉱床型対比表

**【別添図】**

- 別添図 1 総合解析図 (縮尺 50 万分の 1)

**【巻末資料】**

- 巻末資料 1 鉱床調査表
- 巻末資料 2 第 1 年次抽出有望地区の現地確認調査

## 要 約

本報告書はペルー共和国ペルー南部地域を対象に実施した資源開発協力基礎調査鉍物資源広域調査の第2年次の調査結果をとりまとめたものである。本調査は対象地域において、衛星画像解析及び既存データ解析を実施し、得られた結果を総合的に解析して、短期的かつ効果的に広大な調査地域から鉍床賦存有望地区を抽出することを目的とする。

第2年次調査の対象地域は面積約 35,000km<sup>2</sup> で、国土地理院 (IGN; Instituto Geográfico Nacional) 発行の 10 万分の 1 地形図 13 図画にまたがる地域である。地形的には、太平洋岸の海岸山脈からプレアンデス平野を経て西部アンデス山脈に至る地帯を包含しており、気候的にも海岸地帯の乾燥気候から山岳地帯の高地寒冷型気候までと変化に富む。地質は先カンブリア紀の変成岩類から第四紀の堆積物までがアンデストレンドに調和的に分布する。

調査内容は、JERS-1 SAR 画像及び LANDSAT TM 画像データの解析及び既存データの解析である。更に、相手国機関であるエネルギー鉍山省地質鉍物冶金研究所 (INGEMMET; Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) に対して衛星画像解析の技術移転を実施した。また総合解析として、衛星画像解析と既存データ解析結果を合わせて調査対象地域全域の鉍床賦存ポテンシャル評価を実施し、有望地区を抽出した。

本調査の実施により以下のことが判明した。

### (1) 衛星画像解析

鉍脈型鉍床の賦存位置はリニアメント分布密度との関連は無いが、これが新生界に位置する場合には酸化鉄指標あるいは粘土鉍物指標が必ず随伴する。マント型鉍床の場合には何らの示徴も与えない。鉍染型および網状脈型鉍床はリニアメント分布密度の相対的高まりの近辺に位置し、その賦存位置には弱いながらも酸化鉄指標あるいは粘土鉍物指標の何れかが伴われると結論された。

### (2) 既存データ解析

調査地域には、先カンブリア紀から第四紀までの堆積岩類および火山岩類が、北西-南東の伸張方向を有して分布する。これらを買いて、オールドビス-シルル紀、後期白亜紀、白亜紀末-古第三紀初頭および新第三紀の貫入岩類が分布する。

本調査地域に分布する鉍徴・鉍床は総計 260 箇所が記載されるが、その 9 割以上の 238 箇所が鉍脈型鉍床である。次いでマント型、鉍染型および網状脈型がそれぞれ 15、4 および 3 箇所知られている。鉍脈型の鉍種は金および金・銅鉍脈型が 172 箇所であり、その胚胎母岩も先カンブリア界から第四系までと幅広く数次の鉍化作用の存在を覗わせるものの具体的研究は皆無である。銅、銅・鉄および鉄鉍脈型は中生界の堆積岩類および貫入岩類中に分布する。特に鉄鉍脈は海岸底盤の Patap 岩系に限定される。マント型鉍床は鉄鉍床が先カ

ンブリア紀の Marcona 累層中に 12 箇所、鉄・銅鉱床が中生代の Guaneros 累層中に、銅・金鉱床が Seraj 累層中に各 1 箇所分布する。鉱染型および網状脈型は金、金・銅および銅・モリブデンの鉱徴であり、海岸底盤および新生界中に分布する。特に金については新生代の火山岩類中に賦存しており、浅熱水性金鉱床および斑岩銅鉱床の賦存の可能性を示唆する。

### (3) 総合解析及び提言

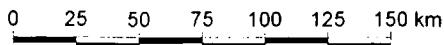
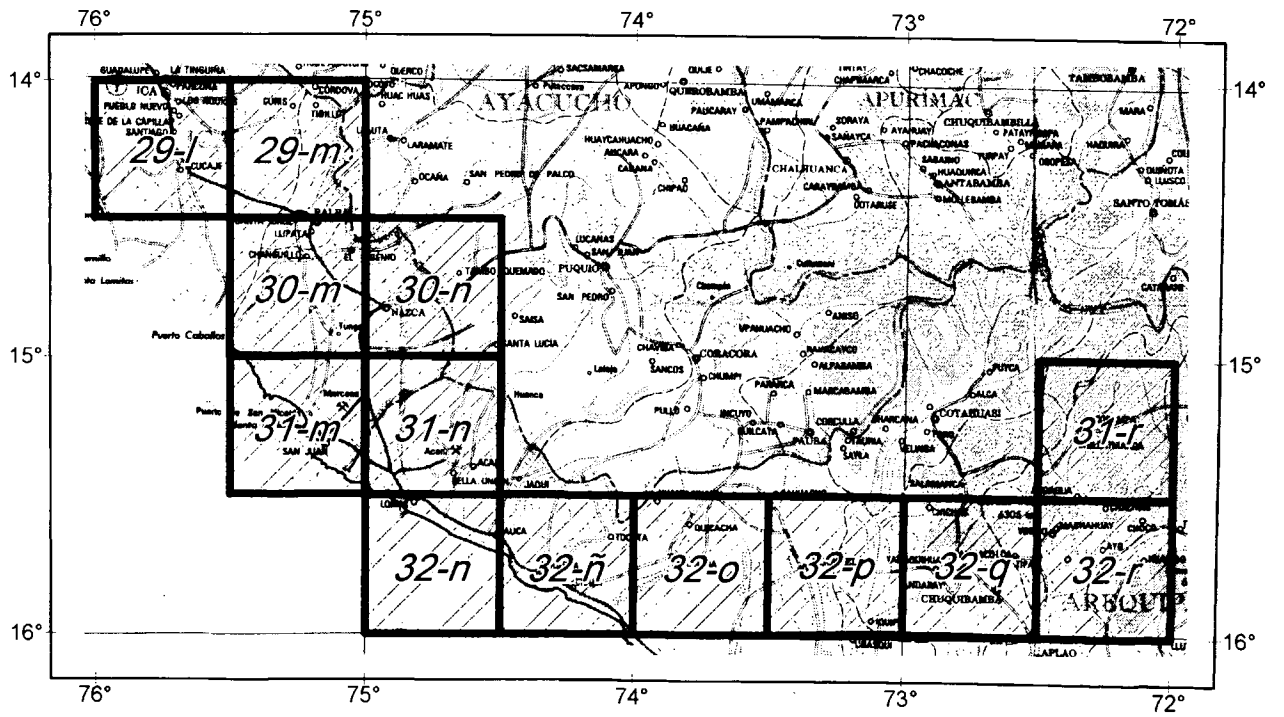
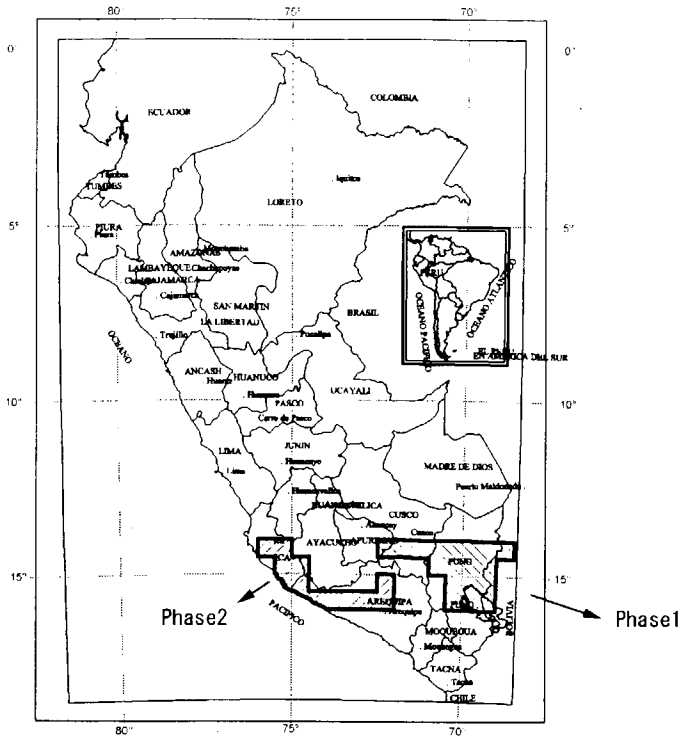
衛星画像解析及び既存データ解析の結果に基づく総合解析を実施した。総合解析により

- ①衛星画像解析により抽出された酸化鉄指標アノマリー、
- ②粘土鉱物指標アノマリー、
- ③リニアメント分布密度、
- ④中新世～更新世火山岩類および中生代の Guaneros 累層、Yura 層群および Casma 層群の分布、
- ⑤既知鉱徴地分布、

を判断基準として、調査地域から以下の 5 地区が有望地区として抽出された。

1. Nazca 地区
2. Tocota 地区
3. Chuquibamba 地区
4. Andagua 地区
5. Orcopampa 地区

これらの地区を対象に、地質及び鉱化・変質作用確認のための地質踏査を実施することが望ましい。



Survey Area of Phase 2  
 29-l Quadrangle numbers

第1図 調査地域位置図



# 第 I 部 序 論

## 第1章 調査概要

### 1-1 調査の経緯及び目的

ペルー共和国にとって鉱業は最も重要な基幹産業の一つであり、2000年の金属鉱産物の生産額は33億US\$、輸出額は30億US\$に達し、輸出総額の45.9%を占めている。ペルー共和国の国土は1,285,220 km<sup>2</sup>の広さを有し、太平洋側から東に向かって地形、地質区分及び金属鉱床生成区はおおむね北西-南東に平行な帯状の分布を示す。金属鉱床生成区は、海岸山脈の鉄鉱床生成区、アンデス西部山脈太平洋側斜面の鉱脈型及び斑岩銅型銅鉱床生成区、アンデス西部山脈火山岩地帯の鉱脈型銀・鉛・亜鉛鉱床生成区に大きく区分される。

調査地域は、ペルー南部の南緯14~16°、西経72~76°間に位置し、地勢上は、西側の太平洋岸より海岸山脈、プレアンデス平野およびアンデス西部山脈から構成される。上述の鉱床生成区と対応させれば、海岸山脈の鉄鉱床、プレアンデス平野および西部山脈には小規模な金および金・銅鉱脈鉱床の賦存が知られているが、未だ組織的な調査・解析は実施されていない地域である。

ペルー政府は、同地域における鉱業投資の促進に資するため、鉱床ポテンシャルの把握を目的とした協力調査の実施を日本政府に要請した。これを受け日本政府は2000年10月14日~同年10月21日、調査計画協議のための調査団を派遣し、同年10月18日にScope of Workに調印した。

Scope of Workに基づき、本調査は対象地域の衛星画像解析及び既存データ解析を実施し、得られた結果を総合的に解析することにより、短期かつ効率的に鉱床賦存有望地区を抽出することを目的とする。同時に、相手国機関であるペルー共和国エネルギー鉱山省地質鉱物冶金研究所（以下、INGEMMET; Instituto Geológico Minero y Metalúrgico）に対して調査・解析手法の技術移転を図ることを目的とする。

### 1-2 第2年次調査の範囲及び作業の概要

Scope of Workで合意された調査範囲は、10万分の1地形図30図面にまたがる地域であるが、本年度は昨年度実施した地域の西部、南緯14~16°、西経72~76°間の13図画（第1図参照）を対象としてJERS-1 SAR及びLANDSAT TM画像データの解析及び既存データ解析を実施した。

調査は以下の手順で実施した。

衛星画像データ処理及び判読作業はJERS-1 SARデータ、LANDSAT TMデータと縮尺10万分の1地形図を入手後、主として日本国内において実施した。一方、既存データ解析は既刊の地質図幅および図幅説明書を日本国内で整理・解析し、ペルー国内において地質情報と鉱山・鉱徴地の資料を追加入手し、ペルー国においてINGEMMET技術者と共同で既存資料の総合解析を実施した。更に、現地調査期間中に画像解析技術の移転を目的として、画像判読及び判読結果の解析の一部をINGEMMET技術者との共同で実施した。

衛星画像解析と既存データ解析を行うことにより、地質単元区分図、リニアメント図、スペクトル異常帯分布図、既知鉱徴地一覧、解析結果総括図等を成果物として作成した。

### 1-3 調査団の編成

調査団の編成は、第1表のとおりである。

第1表 現地調査団

日本側			ペルー共和国側		
(氏名)	(役割)	(所属)	(氏名)	(役割)	(所属)
濱 博也	調査責任者 既存データ解析 衛星画像解析	MINDECO	Ing. Julio Sanchez Miliano	既存データ解析 衛星画像解析	INGEMMET
			Ing. Enzo Viaccava	既存データ解析 衛星画像解析	INGEMMET

(略称) MINDECO : 三井金属資源開発株式会社

INGEMMET : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

### 1-4 調査期間及び調査量

調査期間は第2表のとおりである。

第2表 調査期間

	2001年					2002年
	8月	9月	10月	11月	12月	1月
計画・準備	7					
衛星画像解析						
画像作成						
画像判読						
データ入力 (デジタル)						
既存データ解析						
動員撤収			18	21		
現地解析(衛星画像及 び既存データ解析)			20	17		
解析・報告書作成						31

調査数量は第3表のとおりである。

第3表 調査数量

調査内容	調査数量	
既存データ解析	調査面積	35,000km <sup>2</sup>
衛星画像解析	調査面積	35,000km <sup>2</sup>

使用画像シーン数

JERS-1 SAR データ            21 シーン

LANDSAT TM データ            7 シーン

## 第2章 調査地域の地理

### 2-1 位置及び交通

調査対象地域は、首都リマの南東に位置し、西経 72~76° 間の東西約 400 km、南緯 14~16° 間の南北約 200km に広がり、面積は約 35,000 km<sup>2</sup> である(第1図)。

調査地域は北部よりイカ(Ica)県、ワンカヴェリカ(Huancavelica)県、アヤクチヨ(Ayacucho)県およびアレキーパ(Arequipa)県の4県にまたがる。地域内の主要都市は調査地域北部~西部のイカおよびナスカ(Nazca)で、東部には小規模村落が位置するのみである。

調査地域へは首都のリマからパンアメリカン道を経由し、前記主要都市に達することが出来るほか、航空機を利用してペルー第2の都市であるアレキーパに向かい、陸路によりパンアメリカン道を北上する方法がある。所要時間はリマ~イカ間が陸路約3時間、リマ~アレキーパ間が空路約1時間である。

### 2-2 地形及び水系

調査地域の地形区分は太平洋岸から東に向かい、海岸山脈、プレアンデス平野、西部アンデス山脈に区分される。海岸山脈は南部ペルーにおける特徴的な地形要因であり、ペルー中央部以北には、エクアドル国境に至る最北部を除き分布しない。プレアンデス平野はペルー中央部以北ではいわゆる海岸平野と同義語であり、北はエクアドルへ、南はチリーへと連続する。西部アンデス山脈はいわゆるアンデス山脈である。

調査地域の西部の海岸山脈は先カンブリア系の変成岩および下部古生界よりなり概ね標高 500m~1000m を示す。プレアンデス平野は調査地域では幅約 80km と比較的広くなり、標高 500m~700m を示す。西部アンデス山脈は調査地域では大部分が西斜面帯に属するが、調査地域東部ではアルチプレーノと称される標高 4,500m 前後の準平地帯を含む。所々に山岳氷河も点在する。最高峰は標高約 6300m のオロプナ(Nevado Oropuna)雪山である。更に準平地帯の南西縁には活火山を含む火山丘帯が分布する。

調査地域の主要河川はほぼ北東-南西から南北の方向性を持ち、全て太平洋へ流下する。河川長は概して短く、西部アンデス山脈西斜面を急流を成して流下するが、プレアンデス平野に達すると流速は穏やかとなり、山岳部の乾季には伏流河川と化すものも存在する。

### 2-3 気候及び植生

本地域の気候は、海岸地帯と山岳地帯とで全く異なる。山岳地帯は高地寒冷型の気候に区分され、年間を通して平均気温の変化は乏しいが、11月から3月までが雨期、4月から10月までが乾季とされる。年間降雨量は 900mm 程度で平均気温は 10°C 前後であるが、特に乾季は気温の日変化が大きく、最高気温は 20°C 以上に、最低気温は -10°C 以下になることがある。植生はパハと称する針状葉草本類が主体を成し、河川沿いに低灌木が生育するのみである。

一方、プレアンデス平野を含む海岸地帯は11月から3月までが乾季、4月から10月までが雨季となる。海岸地帯は雨季でも降雨量に乏しく、西アンデス山脈から流下する河川沿いの河床部のオアシス地帯を除き、低灌木を疎らに伴う岩石砂漠地帯となる。

## 第3章 調査地域の既存地質情報

### 3-1 既往調査の概要

調査地域では、インカ文明以前から貴金属、銅等の採掘が行われていた。その後、植民地時代には貴金属を求めて鉱山の探査が組織的ではないが活発に行われ、多量の金、銀が産出された。

近代的な地質調査は1950年代にINGEMMETの前身であるSERGEOMINにより開始され、調査地域を含むペルー全土の100万分の1の地質図(INGEMMET, 1977)が編纂されている。地質図幅は1960年から刊行開始され、1999年にペルー全土503図面の10万分の1地質図の刊行が終了し、100万分の1地質図幅1999年版も出版された。局地的な地質・鉱床調査はINGEMMET、Banco Minero del Perú(バンコ・ミネロ・デル・ペルー(ペルー鉱業銀行))、Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco(クスコ大学)、民間鉱山会社等により実施されている。

ペルー全土の図幅調査完了に伴い、2000年からは各図幅間の地質層序の調整をも念頭に入れ、鉱物資源調査計画(Estudio de los Recursos Minerales del Perú)が発進し、南部ペルーから緯距2°/年の調査が実施される事となった。南緯16°以南は2000年に報告書が第1地帯(Franja No. 1)として公刊された。現在第2地帯(南緯14~16°)の調査が実施されており、2001年末に調査結果が公刊される予定である。

地域研究としては、INGEMMETの図幅調査報告書Bo1. 30、34、37、46、47、50および53により全調査地域がカバーされる。更に、調査地域東部の火山地帯に対し、ペルー南部の地熱・カイヨマ・プキオ地区(INGEMMET, 1998)の報告がある。

鉱床地質及び鉱床生成区については、Bellido, E. et al(1972)のペルーの鉱床生成区の概況、Ponzoni, E. (1980)のペルーの鉱床生成区研究、Chacón, N. et al. (1995)による金属鉱床探査指針としての鉱床成因論、Steinmuller, K. (1999)のペルーの金属鉱床などがある。

### 3-2 地質概要

本調査地域はペルーの基盤岩を構成する先カンブリア紀の変成岩類、古生代から第四紀までの堆積岩類および火山岩類が、北西-南東方向に伸張して分布する。これらを貫いてオルドビス-シルル紀のサン・ニコラス(San Nicolas)底盤、白亜紀末-古第三紀初頭の海岸底盤、後期白亜紀のベジャ・ウニオン(Bella Union)複合岩体および新第三紀初頭の安山岩類等の貫入岩類が分布する(第2図)。

調査地域の地質は概ねアンデストレンド(北西-南東)に平行で、大局的には南西部に先カンブリア界の基盤岩類が、北東に向け順次若い地質単元が分布する。地質構造は調査地域東部に調査地域の北方においていわゆる“アバンカイ(Abancay)屈曲”として知られる、NW-SE~ENE-WSW~NW-SEの構造変化に調和的な小規模な屈曲が認められる。褶曲構造はこの構造変化に対応する。断層構造も圧縮応力場に対応する走向断層はこの屈曲構造に調和





的であり、展張応力場に対応する横断断層が NE-SW 方向を持ち走向断層に斜交する。

### 3-3 既知鉱床・鉱徴概要

調査地域に分布する既知鉱床および鉱徴(以下鉱徴と総称する)は 260 箇所が確認されている。これらの鉱徴の形態的区分は鉱脈型鉱床が 238 箇所であり、既知鉱徴の 9 割以上を占める。次いでマント型鉱床(15 箇所)、鉱染型鉱床(4 箇所)、網状脈型鉱床(3 箇所)が知られている。

鉱脈型鉱床の鉱種は金鉱脈および金・銅鉱脈鉱床が 172 箇所で鉱脈型鉱床の 7 割強を占め、古くから零細産金地帯として知られていた調査地域西部(Ica-Nazca)地域の特徴を如実に示している。鉱床胚胎母岩は先カンブリア界の変成岩類から第四紀の火山岩類中までの幅広い分布を示す。鉱床規模は脈幅数 10cm、延長数 100m 程度であるが、金品位は 100g/t オーダーを示すものも散見され、小規模高品位鉱の特徴がうかがわれる。銅鉱脈鉱床は 56 箇所が認められている。鉱床胚胎母岩は中生界の堆積岩類および貫入岩類である。鉱床規模は金鉱床とほぼ同程度であるが、若干脈幅が広い特徴を有する。それでも平均すれば 1m 以下である。採掘対象鉱物は酸化銅鉱が主体であるが、二次富化鉱に逢着した場合には、高品位鉱を産出した。鉄鉱脈鉱床は、いわゆるアカリ(Acari)閃緑岩体(海岸底盤、パタップ(Patap)岩系)中に分布する。鉱床規模は脈幅 1~40m、延長 200~1500m である。

マント型鉱床は、ペルーにおける唯一の鉄生産拠点であるマルコーナ(Marcona)鉱山を構成する鉄マント鉱床を主体とする。鉱床母岩はカンブリア紀の Marcona 累層中の石灰岩および苦灰岩、中生代ジュラ紀のグアネロス(Guaneros)累層中の石灰岩および石灰質砂岩であり、鉱体は各層準に調和的な板状に産する。前述の鉄鉱脈鉱床とは鉱物組成には類似性があり、鉱床胚胎母岩に差異があるのみである。小規模な銅・金マント鉱床の記載が中生代上部白亜系のセラ(Seraj)累層中の石灰質砂岩中に認められている。

鉱染型鉱床および網状脈型鉱床は、何れも調査中あるいは調査中断中の鉱徴あるいは鉱化・変質帯である。鉱徴胚胎母岩は海岸底盤のリンガ(Linga)岩系、インカワシ(Incahuasi)岩系、第三紀のタカサ(Tacaza)層群および第四紀のバロソ(Barroso)層群である。鉱種は金、金・銅、銅・モリブデンの 3 種に分類でき、浅熱水性金鉱床および斑岩銅鉱床の示徴であると期待されている。