

チリ共和国 第I州地域

資源開発協力基礎調査報告書

(第1年次)

平成12年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

は し が き

日本国政府はチリ共和国政府の要請に応え、同国の第 I 州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、衛星画像解析、地質調査、地化学探査、物理探査、ボーリング調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、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11年度を第 1 年次とする第 1 年次にあたり、金属鉱業事業団は調査員 4 名を平成12年 3 月11日から平成12年 3 月27日まで現地に派遣した。

現地調査は、チリ共和国政府機関、チリ銅公社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チリ共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在チリ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12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 田 代 直 弘

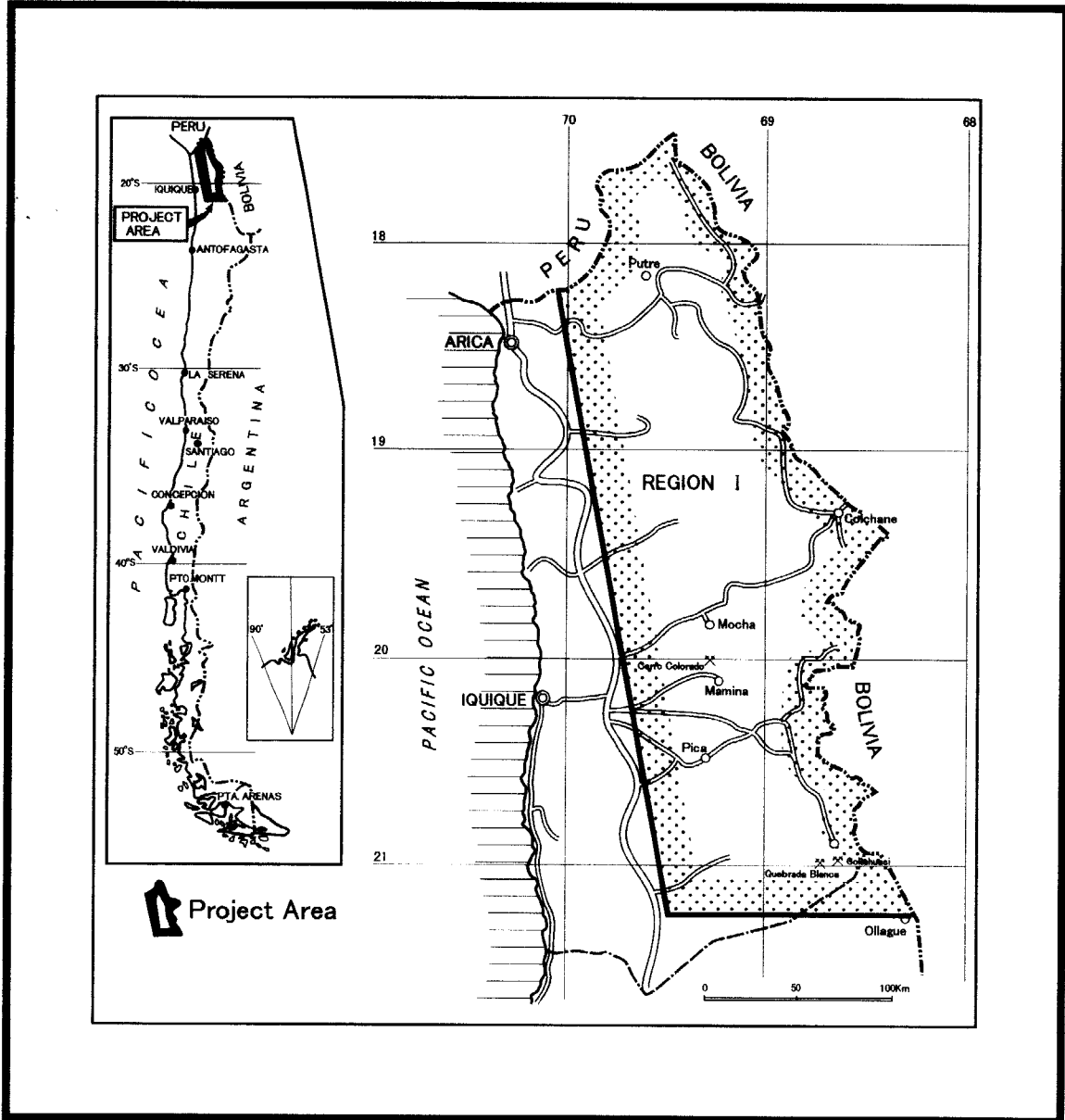


Fig. 1-1 Index Map of the Project Area

要 約

第 I 州地域における第 1 年次調査として既存データ解析、衛星画像解析及び地質調査・地化学探査が実施された。その結果は以下のとおり要約される。

既存データ解析：

既知鉱床・鉱徴地の鉱化作用がタイプ分けされ、斑岩銅型鉱化帯とそれに密接する可能性を有する鉱徴地が選定された。これらの鉱化帯・鉱徴地は白亜紀～古第三紀の貫入火成岩体(深成岩類・半深成岩類)及びその周辺の古第三紀以前の地層中に胚胎する。同鉱化帯・鉱徴地は、暁新世～始新世前期及び始新世後期～漸新世前期の両斑岩銅型鉱床ベルト中に分布するが、北部～中央地域では中新世～第四紀の火成活動に関連した浅熱水性の鉱化帯が斑岩銅型鉱化帯に重複している所もあると考えられる。

GEOSCAN データから作成した可視近赤外域～短波長赤外域、短波長赤外域及び熱赤外域の各種画像の解析により、詳細な地質構造の把握と、変質帯の分帯が実施され、各所に中性～酸性変質帯が抽出された。

衛星画像解析：

古第三紀以前の地層の分布域とその周辺及び新第三紀中新世～第四紀火山岩類分布域に多数の変質帯が抽出された。変質帯の配列方向は、変質帯の周辺に発達するリニアメントの卓越方向に調和的である。

斑岩銅型鉱化帯は、リニアメント発達域の周縁部又は中心部付近に位置する。また、近傍に鉱床・鉱徴地を伴うリニアメントの方向は多岐にわたる。

中央地域及び南部地域では、斑岩銅型鉱化帯を含む多くの鉱徴地が変質帯及びその周辺に分布するが、北部地域では、斑岩銅型鉱化帯及びそれに密接する可能性を有する鉱徴地の多くは、変質帯が抽出されない地域に分布している。

地質調査・地化学探査：

既存データ解析及び衛星画像解析から抽出された鉱床賦存有望地区の一部について、地質構造、鉱化作用及び変質帯を検証するための概査が行われ、分析用試料が採取された。

総合検討結果：

① 変質帯及び鉱床・鉱徴地と、これらを中心とした半径 4km の範囲を鉱化作用に関連した熱水活動範囲と仮定した場合、熱水活動域は、全体的に NNW-SSE 方向に分布するが、北部、中央部及び南部の各地域には、NNW-SSE 方向を切るような

E-W系の熱水活動域が推定される。既知の斑岩銅型鉱化帯は、このE-W系熱水活動域中に分布している。熱水活動域は、中央地域及び南部地域ではリニアメント発達域にほぼ一致するが、北部地域では中央地域や南部地域に比べてリニアメント発達域との対応が悪く、むしろ中新世-第四紀の火山分布と良い対応を示す。

② 斑岩銅鉱床賦存の有望地域として次のいずれかに該当する箇所が選定された。

(i) 斑岩銅鉱床型の鉱徴地及びその周辺4kmの範囲

(ii) 漸新世前期以前の地層中に存在し斑岩銅型鉱化帯に密接する可能性を有する鉱徴地と変質帯それぞれの周辺4kmの範囲が重複する部分

③ 第2年次調査として、斑岩銅鉱床の賦存状況を明らかにするため下記調査が提言された。

(i) 第1年次に選定された有望地域に対する現地検証調査。

(ii) 第1年次に選定された有望地域に対し、さらなる絞り込みを行うためと、新期地層に覆われているため変質帯が抽出されなかった地域において潜頭型鉱化帯の賦存有望地域を選定するための高精度空中磁気探査。

(iii) 画像解析と高精度空中磁気探査から抽出される有望地域に対する地質概査。

(iv) 潜頭型鉱化帯が推定される地域における被りの厚さを推定するための重力探査。

目 次

目 次

はしがき
調査地域位置図
要 約
目 次
付図付表一覧

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論 -----	1
1-1 調査の経緯及び目的 -----	1
1-2 第 1 年次調査の範囲, 目的及び作業の概要 -----	1
1-3 調査団の編成 -----	1
1-4 調査期間 -----	3
第 2 章 調査地域の地理 -----	4
2-1 位置及び交通 -----	4
2-2 地形及び水系 -----	4
2-3 気候及び植生 -----	5
第 3 章 調査地域の地質・鉱床概要 -----	5
第 4 章 調査結果の総合検討 -----	11
4-1 地質構造, 鉱化作用の特性と鉱化規制について -----	11
4-1-1 鉱化作用のタイプ -----	11
4-1-2 火成活動の時代性と鉱化タイプ -----	11
4-1-3 貫入火成岩と鉱床・鉱徴地 -----	12
4-1-4 地質層序と鉱床・鉱徴地 -----	12
4-1-5 断層と鉱床・鉱徴地 -----	13
4-1-6 リニアメントと鉱床・鉱徴地 -----	13
4-1-7 変質帯と鉱床・鉱徴地 -----	13
4-2 鉱床賦存のポテンシャルについて -----	14
第 5 章 結論及び提言 -----	23
5-1 結論 -----	23
5-2 第 2 年次への提言 -----	25

第Ⅱ部 各 論

第1章 既存データ解析	27
1-1 地質・鉱床資料の編集及び解析	27
1-1-1 資料の編集及び解析	27
1-1-2 情報のデジタル化	28
1-2 GEOSCANデータの画像作成，地質判読及び解析	28
1-2-1 解析目的	28
1-2-2 解析範囲	28
1-2-3 使用データ	28
1-2-4 画像の作成	28
1-2-5 スペクトルデータ	51
1-2-6 作成された画像の特徴	51
1-2-7 画像地質判読・解析	54
第2章 衛星画像解析	75
2-1 序 論	75
2-1-1 解析目的	75
2-1-2 解析範囲	75
2-1-3 使用データ	75
2-1-4 画像処理・作成	77
2-2 画像の判読・解析	85
2-2-1 VOLCAN TACORA 地区	85
2-2-2 ARICA 地区	87
2-2-3 SALAR DE SURIRE 地区	88
2-2-4 MAMIÑA 地区	90
2-2-5 SALAR DE LLAMARA 地区	92
2-2-6 IQUIQUE 地区	94
第3章 地質調査・地化学探査	111

第Ⅲ部 結論及び第2年次への提言

第1章 結論	117
第2章 第2年次への提言	118

参考文献

FIGURES

- Fig. 1-1 Index Map of the Project Area
- Fig. 1-3-1 Geological Map of the Study Area
- Fig. 1-4-1 Relationship among Granitoids from TM Images, Ore deposits and Prospects in the Study Area
- Fig. 1-4-2 Relationship between Density of Ore Deposits & Prospects and Lineaments in the Study Area
- Fig. 1-4-3 Hydrothermal Activity Zones of the Study Area
- Fig. 1-4-4 Integrated Interpretation Map
- Fig. 2-1-1 Geological Structure of the Study Area
- Fig. 2-1-2 Distribution of Ore Deposits and Prospects in the Study Area
- Fig. 2-1-3 Sketch Maps Showing Areas in the Central Andes Affected by Selected Mesozoic and Cenozoic Magmatic and Metallogenic Episodes
- Fig. 2-1-4 Types of Principal Gold and Copper Deposits in the Central Andes
- Fig. 2-1-5 Magmatic and Metallogenic Province in the Region I Area
- Fig. 2-1-6 Compiled Interpretation Map from Previous Data of the Study Area
- Fig. 2-1-7 Location Map of Geoscan Images
- Fig. 2-1-8 Reflectance-Emissivity of Rock and Mineral Samples
- Fig. 2-2-1 Location Map of Satellite Images
- Fig. 2-2-2 Photogeological Interpretation Map of TM Images
- Fig. 2-2-3 Photogeological Structure of the Study Area
- Fig. 2-3-1 Target Areas Plotted from Analysis of Satellite Images and Existing Data
- Fig. 2-3-2 Location Map of the Ground Truth Area

TABLES

- Table 1-1 Amount of Work
- Table 1-2 Monthly Mean Temperature and Precipitation Observed at Arica
- Table 1-3-1 Stratigraphy of the Study Area
- Table 2-1-1 List of Ore Deposits and Prospects in the Study Area
- Table 2-1-2 Band Allocation of Geoscan Data
- Table 2-1-3 List of Geoscan Data Used for Interpretation
- Table 2-1-4 Wavelength for Calculation of Reflectance and Emissivity
- Table 2-1-5 Photogeological Interpretation of Geoscan Images (1)~(2)

- Table 2-1-6 Characteristics of Photogeologic Units of the Tignamar Area
- Table 2-1-7 Characteristics of Photogeologic Units of the Palca Area
- Table 2-1-8 Characteristics of Photogeologic Units of the Mocha-Queen Elizabeth Area (1) ~ (2)
- Table 2-1-9 Characteristics of Photogeologic Units of the Cerro Colorado Area
- Table 2-1-10 Characteristics of Photogeologic Units of the Copaquiri Area
- Table 2-1-11 Characteristics of Photogeologic Units of the Collahuasi Area
- Table 2-2-1 Coordinates, Acquisition Data and Sun Elevation of TM Images of Each Area
- Table 2-2-2 Photogeological Interpretation of TM Images
- Table 2-2-3 Characteristics of Photogeologic Units of the VOLCAN TACORA Area
- Table 2-2-4 Characteristics of Photogeologic Units of the ARICA Area
- Table 2-2-5 Characteristics of Photogeologic Units of the SALAR DE SURIRE Area
- Table 2-2-6 Characteristics of Photogeologic Units of the MAMIÑA Area (1)~(2)
- Table 2-2-7 Characteristics of Photogeologic Units of the SALAR DE LLAMARA Area (1)~(2)
- Table 2-2-8 Alteration Zones of the VOLCAN TACORA Area
- Table 2-2-9 Alteration Zones of the ARICA Area
- Table 2-2-10 Alteration Zones of the SALAR DE SURIRE Area
- Table 2-2-11 Alteration Zones of the MAMIÑA Area
- Table 2-2-12 Alteration Zones of the SALAR DE LLAMARA Area

PLATE

- PL. 1 Photogeological Interpretation Map of the VOLCAN TACORA Area
- PL. 2 Photogeological Interpretation Map of the ARICA Area
- PL. 3 Photogeological Interpretation Map of the SALAR DE SURIRE Area
- PL. 4 Photogeological Interpretation Map of the MAMIÑA Area
- PL. 5 Photogeological Interpretation Map of the SALAR DE LLAMARA Area
- PL. 6 Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Tignamar Area
- PL. 7 Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Palca Area
- PL. 8-A Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Mocha-Queen Elizabeth Area
- PL. 8-B Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Mocha-Queen Elizabeth Area
- PL. 9 Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Cerro Colorado Area
- PL. 10 Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Copaquiri Area
- PL. 11 Photogeological Interpretation Map of Geoscan Images in the Collahuasi Area

第 I 部 総論

第 I 部 総 論

第1章 序 論

1-1 調査の経緯及び目的

日本国政府は、チリ共和国政府からの資源開発協力基礎調査に関する要請に応え、1999年12月、事前調査団を派遣し、チリ銅公社(Corporacion Nacional del Cobre de Chile; CODELCO)と第 I 州地域の資源開発調査に関する協定書(Scope of Work)を締結した。調査の概要は、同地域の鉱物資源に対する賦存可能性の評価及び探査を目的とし、1999年度から3年間にわたり既存データ解析、衛星画像解析、地質調査、地化学探査、物理探査及び試錐探査を実施するものである。

本年度調査は第1年次に当たる。

1-2 第1年次調査の範囲、目的及び作業の概要

調査地域は、チリ北部に位置する(Fig.1-1)。各手法別の調査範囲は、Figs.2-1-7, 2-2-1, 2-3-2 に示した。

第1年次調査の目的は、第 I 州地域を対象として、短期かつ効率的に広大な地域から鉱床賦存有望地区を抽出すること、及び相手国機関に対して技術移転を図ることである。

第1年次調査は、既存データ解析、衛星画像解析及び地質調査・地化学探査からなり、その作業量は、Table 1-1 に示した。

既存データ解析では、調査地域の地質・鉱床及び探査に係わる資料を収集・整理し、衛星画像解析及び地質調査・地化学探査を解析するために必要な知見を得た。また、GEOSCANデータから、変質帯の分帯及び地質構造の解明を行い、鉱床賦存有望地区を抽出した。

衛星画像解析では、衛星画像の写真地質学的判読作業を行い、調査地域全体の広域的な地質構造を把握し、有望地区を抽出した。

地質調査・地化学探査では、既存データ解析、衛星画像解析結果等から抽出された鉱床賦存有望地区の一部について、地質構造、鉱化作用及び変質帯を検証するための概査を行い、分析用試料を採取した。本調査で採取された室内試験試料の数量は、Table 1-1 のとおりである。

1-3 調査団の編成

(1) 事前調査及び協定折衝

Table 1-1 Amount of Work

Survey Method	Amount
Analysis of Existing Data Geoscan	Areal extent 2,550 km ²
Analysis of Satellite Images Landsat TM	Areal extent 34,000 km ²
Geological Survey	Areal extent 600 km ²
	Length of traverse 100 km
	Laboratory work
	Thin sections 30 sections
	Polished sections 20 sections
	X-ray diffraction 20 samples
	Ore assay 20 samples
	(Au, Ag, Cu, Mo, Pb, Zn, S)
	Fluid inclusion analysis
	Homogenization temperature 5 samples
Salinity 5 samples	
Geochemical Prospecting	K-Ar age determination
	Whole rock / Mineral 5 samples
	Geochemistry of rock 100 samples
(Au, Ag, As, Sb, Hg, Cu, Mo, Pb, Zn)	

1) 日本側調査団

澤田 賢治 (団長, 金属鉱業事業団調査事業部次長)
山口 幸文 (国際協力事業団資源開発調査課)
上木 隆司 (金属鉱業事業団調査事業部海外協力課)
一戸 田瑞子 (国際協力事業団チリ事務所)
山本 恭久 (金属鉱業事業団サンチャゴ事務所所長)
五十嵐 吉昭 (金属鉱業事業団サンチャゴ事務所)

2) チリ共和国側

Sergio Jimenez M. (鉱業大臣)
Ivan Valenzuela R. (チリ銅公社副総裁)
Francisco Camus I. (チリ銅公社探査部部長)
Jorge Skarmeta M. (チリ銅公社探査部次長)
Enrique A. Tidy (チリ銅公社探査部)
Gerardo Behn R. (チリ銅公社探査部)
Karsten Berg H. (チリ銅公社探査部)

(2) 現地指導監督

原田 武 (金属鉱業事業団調査事業部海外協力課)

(3) 現地調査

1) 日本側調査団 (日鉱探開株式会社)

菅原 正明 (団長, 総括)
濱野 幸治 (地質調査・地化学探査)
三好 誠 (地質調査・地化学探査)
伊藤 康則 (地質調査・地化学探査)

2) チリ共和国側調査団 (チリ銅公社)

Enrique A. Tidy (地質調査・地化学探査)
Karsten Berg H. (地質調査・地化学探査)

1-4 調査期間

(1) 事前調査及び協定折衝 : 平成11年12月 5日～平成11年12月13日
(2) 現地指導監督 : 平成12年 3月17日～平成12年 3月24日

(3) 平成11年度資源開発協力基礎調査

既存データ解析 : 平成12年1月21日～平成12年3月10日
衛星画像解析 : 平成12年1月21日～平成12年3月20日
地質調査・地化学探査 現地調査 : 平成12年3月11日～平成12年3月24日

(4) 室内解析・報告書作成 : 平成12年1月21日～平成12年3月26日

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

調査地域は、チリ北部の第I州地域のうち、海岸地域を除く東側の地域で、南北約400km、東西約100kmを有する。調査地域は、ほぼ次の4点によって囲まれた面積34,000km²の範囲(Fig. 1)である。

	南緯	西経		南緯	西経
①	18° 16′	70° 02′	②	17° 30′	69° 28′
③	21° 15′	69° 28′	④	21° 15′	68° 12′

調査地域の北はペルーとの、また、東はボリビアとの国境となっている。

調査地域周辺の都市としては、北西にアリカ(Arica)、西にイキーケ(Iquique)があり、前者は約17万人、後者は約15万人の人口を有する。

国際空港のあるサンチャゴから空路で、イキーケまでは約3時間、アリカまでは約4時間をそれぞれ要する。

調査地域の西側境界に沿ってパンアメリカンハイウエーがあり、ここから東方へ向かう道路が数本あるが、多くは未舗装である。調査地域内、特に東部地区は道路網が発達せず全般にアクセスは極めて悪い。イキーケやアリカから東部地区までは車で数時間以上を要す。

2-2 地形及び水系

チリ中部以北は、東のアンデス山脈、西の海岸山脈、そして中間低地帯と三つの平行した地帯からなる。調査地域の西側は、標高が比較的低い(1,000～3,000m)緩傾斜地帯であり、中間低地帯～プレアンデス帯に属す。調査地域の東側は、標高が高く(3,000

～5,000m), 起伏に富みプレアンデス帯～アンデス山脈帯に属す。

調査地域の水系は、東から西へ流れ、通常は涸れ沢となっていることが多いが、まれに洪水を伴う流水がある。また、西側の中間低地帯では流水は伏流し、沢は消滅している。

2-3 気候及び植生

調査地域は、砂漠気候帯及び高山気候帯に属し、年中強風にさらされている。6～9月は比較的寒冷な季節で、1～3月は比較的温暖な季節である。また、12月～3月にはしばしば雷雨を伴う嵐がある。アリの年平均気温は18.7℃であり、また、12月～3月における最高温度は28℃、最低温度は16.8℃である。アリの観測された1961～1990年の30年間の月平均降水量及び月平均気温は、Table 1-2 のとおりである。

調査地域は降水がほとんどないため、一般に植生は極めて希薄であるが、東側の山岳地域には背丈の低い草本類及びサボテンがまばらに存在している。

Table 1-2 Monthly Mean Temperature and Precipitation Observed at Arica (1961～1990)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Temperature (°C)	22.1	22.1	21.4	19.4	17.7	16.5	15.7	15.6	16.3	17.5	18.9	20.7	18.7
Precipitation (mm)	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	1.1

第3章 調査地域の地質・鉱床概要

調査地域の地質図は、Fig. 1-3-1 に、また、層序を Table 1-3-1 に示した。

本地域の地質は、古生界、石炭系－三畳系、ジュラ系、白亜系、上部白亜系－古第三系、古第三系、新第三系及び第四系からなる。

先第三系は、調査地域の北部(南緯約18° 48' 以北)、中部(南緯約19° 27' ～約20° 16' 間)及び南部(南緯約20° 29' 以南)に断続的に分布する。

南部の先第三系分布域は、古生界堆積岩類・火山岩類・変成岩類、石炭系－三畳系火山岩類、ジュラ系火山岩類・堆積岩類、白亜系火山岩類、白亜系－古第三系火山岩類、及び古生代深成岩類からなり、これらは白亜紀～古第三紀の貫入岩類(深成岩類・半深成岩類)に貫かれる。

中部の先第三系分布域は、古生界堆積岩類、ジュラ系堆積岩類、白亜系火山岩類、白亜系－古第三系火山岩類・堆積岩類からなり、白亜紀～古第三紀の貫入岩類(深成岩類・半深成岩類)に貫かれる。

北部の先第三系分布域は、古生界変成岩類、ジュラ系堆積岩類、白亜系火山岩類、白亜系－古第三系火山岩類からなり、白亜紀～古第三紀の貫入岩類(深成岩類・半深成岩類)に貫かれる。

第三系としては、漸新統－中新統堆積岩類が調査地域南部に、中新統火山噴出物が南東端部に、中新統－鮮新統火山噴出物が北部及び中～南部に分布する。中新統－鮮新統火山噴出物はイグニブライトを含み、比較的起伏に乏しい緩傾斜地として中・古生界周辺に分布する。

調査地域の東側では、中部以北一帯及び中～南部のボリビア国境沿いなどに鮮新統－更新統火山噴出物が分布する。

調査地域の西側は、第四系砂礫層に広く覆われている。

調査地域中部以南には、N-S方向に延びる断層発達域がある。この断層群は連続性のよいN-S系断層群と、これらの派生断層(NE-SW系)からなる。N-S系断層群の中には、斑岩銅型鉱床の分布を規制していると考えられている「西断層」が含まれる。一方、北部ではNNW-SSE～NW-SE系の大断層が卓越する。北部中・古生界分布域にはNNW-SSE～N-S系断層が発達するが、これは中部以南のN-S系断層群の北方延長部に相当する可能性がある。

中・古生界分布域及びその周辺にはCu, Pb, Zn等を含むベースメタルやAu, Agの鉱徴地が多数分布し、その中に斑岩銅型の大規模鉱床及び鉱徴地が存在する。著名な斑岩銅型鉱化作用として次のものがある。

南部地区：Collahuasi-Ujina鉱床，Quebrada Blanca鉱床，Olga鉱徴地，
Copaquire鉱徴地

中部地区：Cerro Colorado鉱床，Mocha鉱徴地，Queen Elizabeth鉱徴地，
La Planada鉱徴地

北部地区：Tignamar鉱徴地

上記斑岩銅型鉱床・鉱徴地のうち、Cerro Colorado鉱床及びMocha鉱徴地は暁新世－始新世前期(60-48Ma)の鉱化作用とされ、ペルーの斑岩銅型鉱床ゾーンに対比される。これら以外の鉱床・鉱徴地は、始新世後期－漸新世前期(43-31Ma)の鉱化作用とされる。

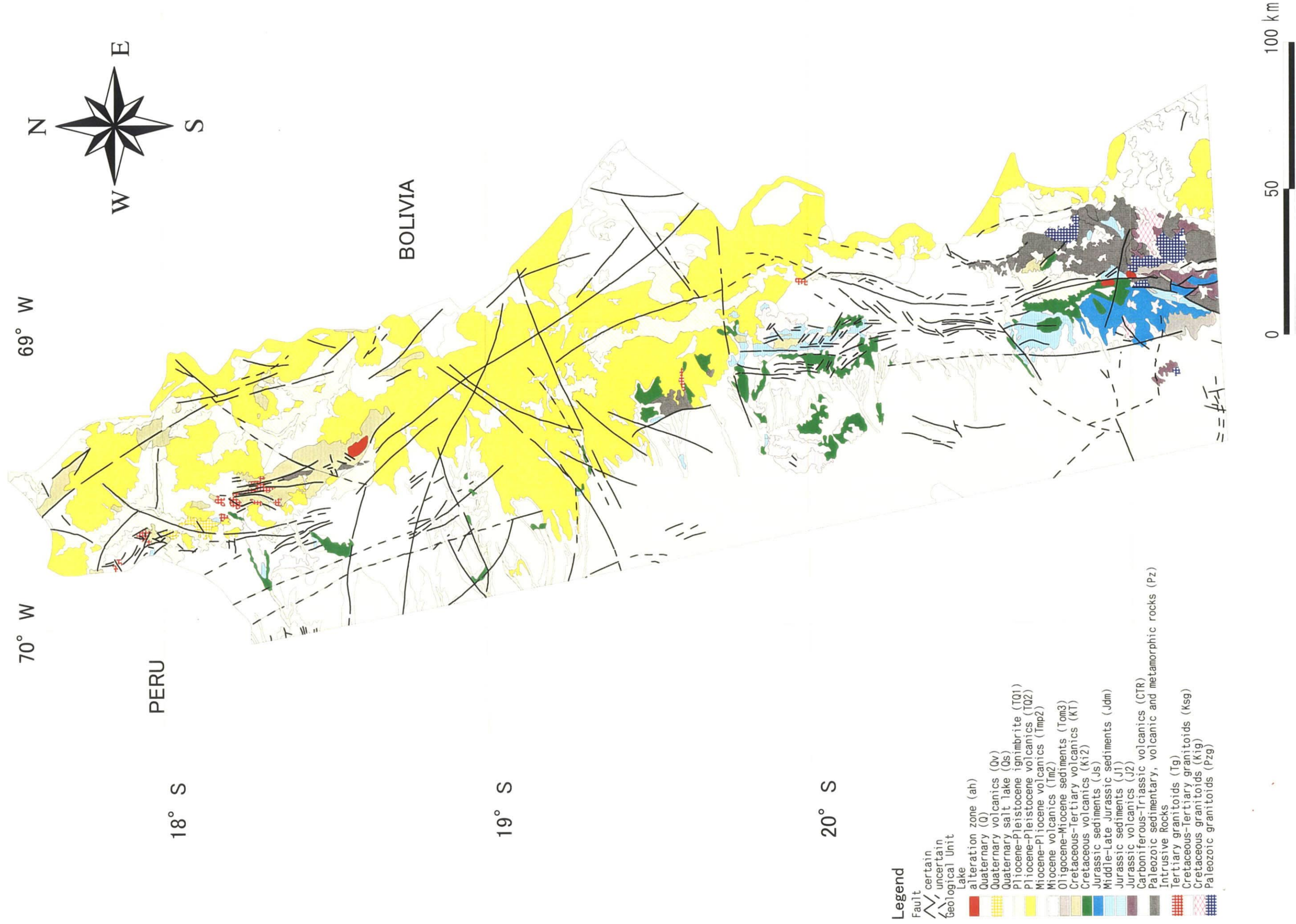


Fig. 1-3-1 Geological Map of the Study Area

Table 1-3-1 Stratigraphy of the Study Area

Period	Epoch	Formation (example)	Strata					Intrusive Rocks					Mineralization			
			Symbols					Lithology	Symbols							
			1:1,000,000 Geologic Map	1:250,000 Geologic Map*1	1:50,000 Geologic Map*2	Photogeologic Interpretation Map 1:250,000 TM	Photogeologic Interpretation Map 1:50,000 GEOSCAN		1:1,000,000 Geologic Map	1:250,000 Geologic Map *1	1:50,000 Geologic Map *2	Photogeologic Interpretation Map 1:250,000 TM		Photogeologic Interpretation Map 1:50,000 GEOSCAN	Lithology	
QUATERNARY			Q, Qv	Qal, Qpd, Qcs, Qip(i), Qip(s)	Qp	Qd, Qa, Qd1, Qa1, Ts2, Ts3	Qal, Qtl, Qd, Qs	Fluvial, Lacustrine, Glacial, Aeolian, Alluvial, Colluvial, Mudflow, Talus								
QUATERNARY - TERTIARY	Pleistocene - Pliocene	Huaylas	TQ1	Tsu, Tsh, TPv, Tpv, TPiv	TQi(Qp)	TQ1, Tvs2	Ti4, Ti4w	Dacitic Ignimbrite, Tuff, Intercalation of continental sediments								
		Cola de Zorro	TQ2	TMv, TMvi			Tv1, Tv2, Tv3	Tv, Tvc, Tvb2, Tvb1, Tva	Andesitic - basaltic flow, pyroclastic rock							
TERTIARY	Pliocene - Miocene	Altos de Picas	Tmp2	Tt	TQt	Tvs, Ts1	Tt, Ti1, Ti2, Ti3	Rhyolitic - basaltic flow, pyroclastic rock, Ignimbrite, Intercalation of continental sediments	Tg	Kti	Ti					
	Miocene	Trapa - Trapa	Tm2	Tpd			Tv1	Rhyolitic - dacitic tuff, andesitic - dacitic flow, pyroclastic rock								
	Miocene - Oligocene	San Pedro	Tom2	Tmc (OLLAGUE)			Ts1, Ts	Conglomerate, Breccia, Sandstone, Shale, Siltstone (continental facies)								
	Paleocene															
EARLY TERTIARY - LATE CRETACEOUS		Las Chilcas	KT	Kiv			K, Kv	K2	Andesitic - rhyolitic flow, pyroclastic rock, Dacitic - rhyolitic Ignimbrite, Intercalation of shale/limestone/sandstone/ conglomerate (continental)	Ksg	KTpgr, Ksg, Kgd	Kg	Kg			
EARLY CRETACEOUS		Bandurria, Lo Prado	Ki2	Kce, Ka	Kce, Ktpb	Kv	K1	Andesitic - rhyolitic / trachytic flow, pyroclastic rock, Ignimbrite, Intercalation of sediments	Kig							
LATE JURASSIC		Rio Damas	Js	Jsc, Jqc			Js2	Js2 / Jkv	Conglomerate, Sandstone, Shale, Limestone, Andesitic flow, breccia (continental; Js2) / Basalt lava doleritic dikes, trachyte with tuffs and chert (Late Jurassic to Early Cretaceous ; Jkv)							
LATE - MIDDLE JURASSIC	Malm - Dogger	El Profeta	Jdm	Jqm		Jv, Js1, Js2	Js1 / Js1s	Sandstone, Calcareous sandstone, Limestone, Marl, Shale, Conglomerate, Chert								
JURASSIC		La Negra	J1	Jm		Js1	Jv	Jv	Andesitic flow/tuff, Rhyolitic/dacitic/trachytic flow, Dacitic tuff with intercalation of sediments							
JURASSIC - TRIASSIC										TR-jg					Triassic - Jurassic, Granitoid	
TRIASSIC - CARBONIFEROUS		Porfido cuarcifera	CTR						Tuff, Breccia flow and mainly rhyolitic to dacitic ignimbrites intercalated with pyroclastics and hypabyssal rocks	Pzg	Pg, Pzgrd, Pzgr, Pzsg				Plutonic/Hypabyssal rocks : Paleozoic	
PALEOZOIC		Aguada de la Perdiz	Pz	Pzc(s), Pzc(m), Pzc(l), Pzim		P	Pz, Pzv	Southern part : Micaceous schist, Metacherts, Serpentinite (metamorphosed) (Permian) Central part : Quartzitic/feldspathic sandstone, Shale, Conglomerate, Chert, Limestone (Silurian-Ordovician) Northern part : Micaceous schist, Amphibole gneiss, Sedimentary and volcanic rocks. (mylonitization in part)				Pg		Pzg	Diorite, Granite, Granodiorite,	

*1 : COLLACAGUE, OLLAGUE, QUILLAGUE (GEOSCAN AREA)

*2 : QUIPISCA, MAMIÑA (GEOSCAN AREA)

第4章 調査結果の総合検討

4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について

4-1-1 鉱化作用のタイプ

調査地域の既知鉱床・鉱徴地の鉱化作用のタイプは、既存資料(Table 2-1-1)に基づき次のように分類された。

① 斑岩型Cu, ② 斑岩型Cu·Mo, ③ 斑岩型Cu·Au, ④ 鉱脈型Mo, ⑤ 不規則形Cu, ⑥ 鉱脈型Cu, ⑦ 形態不明型Cu, ⑧ 鉱脈型Au, ⑨ 形態不明型Au, ⑩ 層状型Cu, ⑪ 鉱脈型Ag·Pb·Zn, ⑫ 形態不明型Ag·Pb·(Zn), ⑬ 鉱脈・形態不明型Ag, ⑭ 鉱脈型Sb, ⑮ 鉱脈型Mn, ⑯ 不規則形型Mn, ⑰ 形態不明型Mn, ⑱ 鉱脈型Fe, ⑲ 不規則形型Fe, ⑳ 形態不明型Fe。

これらのうち、④は斑岩型Cuタイプとの親近性が強いと考えられ、⑤～⑨は斑岩型Cuタイプに近接する可能性を有すると考えられるが、⑩～⑳は斑岩型Cuタイプとの距離が相対的に遠いと考えられる。以下、④～⑨を斑岩銅型鉱化帯に密接する可能性を有する鉱徴地と呼ぶ。

4-1-2 火成活動の時代性と鉱化タイプ

調査地域では、N-S～NNW-SSE方向の火成弧が、時代が進むとともに東側に移動している。ジュラ紀～白亜紀前期、暁新世～始新世前期及び始新世後期～漸新世前期の各火成弧は、ほぼ平行していると推定されるが、中新世～第四紀の火成弧はこれらに斜行しており、南部から北部に向かうにつれ、その重複度が増している(Fig. 2-1-5)。

調査地域の鉱床・鉱徴地の多くは、暁新世～始新世前期及び始新世後期～漸新世前期の各斑岩銅型鉱床ベルト中に分布するが、北部地域では斑岩銅型鉱床ベルトの東方域にも分布する。中新世～第四紀の火成弧の中心軸が始新世後期～漸新世前期の斑岩銅型鉱床ベルト付近に位置することから、北部地域には中新世～第四紀の火成活動に関連して生成した鉱化帯が多く存在し、その一部は斑岩銅型鉱化帯に重複していると考えられる。

北部地域では、斑岩銅型鉱化帯とそれに密着する可能性を有する鉱徴地は、暁新世～始新世前期の斑岩銅型鉱床ベルトに多く分布し、浅熱水性と考えられるAg·Pb·Zn鉱脈は同ベルト以東に分布する。

一方、中央地域及び南部地域では、斑岩銅型鉱化帯とそれに密着する可能性を有する鉱徴地は、すべて二つの斑岩銅型鉱床ベルトに分布する。同ベルトと中新世～第四紀火成弧の重複度は、中央地区ではかなり大きい、南部地域では僅かである。中央地区の始新世後期～漸新世前期の斑岩銅型鉱床ベルトでは、中新世～第四紀火成活動

に関連して生成した鉛化帯が斑岩銅型鉛化帯に重複している可能性がある。斑岩銅型鉛化帯とそれに密接する可能性を有する鉛徴地は斑岩銅型鉛床ベルト中に分布するが、北部ほどより西側に分布するものが多くなる傾向が認められる。

4-1-3 貫入火成岩と鉛床・鉛徴地

北部地域では、全鉛徴地のうち、貫入火成岩(深成岩類・半深成岩類)の付近に分布するものは一部に限られ、特に、第三紀花崗岩類の周辺に分布するものはまれである(Fig. 1-4-1)。斑岩銅型鉛化帯とそれに密接する可能性を有する鉛徴地は、Tignamarと南緯19度付近のものを除けば、白亜紀―第三紀の貫入火成岩体及びその近傍に分布する。

中央地域では、北部の鉛脈型Ag・Pb・Zn鉛徴地を除くすべての鉛徴地が白亜紀―第三紀の貫入火成岩体(深成岩類・半深成岩類)及びその周辺に分布する。

南部地域では、西部及び北部を除くすべての鉛徴地が白亜紀―第三紀の貫入火成岩体(深成岩類・半深成岩類)及びその周辺に分布する。斑岩銅型鉛化帯及び鉛脈型Mo鉛徴地は、同貫入火成岩体の比較的近傍にまとまって分布し、斑岩銅型鉛化帯に密接する可能性を有する鉛徴地(鉛脈型Cu・不規則形型Cu、形態不明型Cu)は、さらにその周辺に分布する。これらの鉛徴地間にはAg・Pb・Zn鉛徴地も分布する。

4-1-4 地質層序と鉛床・鉛徴地

地質図及びTM画像判読結果から鉛床・鉛徴地が胚胎する層序的位置を推定した(Figs. 2-2-1, 2-2-3)。

北部地域では、斑岩銅型鉛床ベルト中若しくはその近傍に分布する斑岩銅型鉛化帯及びそれに密接する可能性を有する鉛徴地は、Tignamarを除けば、白亜紀―第三紀の貫入火成岩体又は白亜紀火山岩類中に胚胎する。これら以外の鉛徴地は白亜紀―第三紀火山岩類及びそれより若い地層中に胚胎する。

中央地域では、斑岩銅型鉛化帯は白亜紀火山岩類又は白亜紀―第三紀の貫入火成岩体中に胚胎し、鉛化タイプ上から斑岩銅型鉛化帯の可能性を有する鉛徴地はジュラ紀中期―後期堆積岩類又は白亜紀火山岩類又は白亜紀―第三紀の貫入火成岩体又は第三紀以後の地層中に胚胎する。

南部地域では、斑岩銅型鉛化帯は古生代堆積岩類・火山岩類又は白亜紀火山岩類又は古生代花崗岩類又は白亜紀―第三紀の貫入火成岩体中に胚胎し、鉛化タイプ上から斑岩銅型鉛化帯に密接する可能性を有する鉛徴地は上記岩石の他にジュラ紀火山岩類・堆積岩類又は白亜紀花崗岩類又は漸新世―中新世堆積岩類又は中新世以後の地層中に胚胎する。

4-1-5 断層と鉱床・鉱徴地

地質図上の断層と鉱床・鉱徴地の分布は全般に密接な関係にあり、鉱床・鉱徴地は通常、断層から約8km以内の距離にある(Fig. 2-1-1)。断層からかけ離れた所に分布する鉱徴地は、中央地区の西部及び南部地域の南東部にのみ認められる。

近傍に鉱床・鉱徴地を伴う断層の方向は多岐にわたる。

4-1-6 リニアメントと鉱床・鉱徴地

TM画像判読から抽出したリニアメントと鉱床・鉱徴地の分布は全般に密接な関係にある。鉱床・鉱徴地は通常、リニアメントから約4km以内の距離にあり、リニアメント発達域に分布する(Fig. 1-4-2)。リニアメントから9km以上離れた例外的な鉱徴地は、北部地域の北部及び南部、中央地域の北部、及び南部地域の西部に認められる。

近傍に鉱床・鉱徴地を伴うリニアメントの方向は多岐にわたる。

鉱床・鉱徴地の密集地域には、互いに斜交するリニアメントからなるリニアメント群が分布する傾向が認められる。但し、中央地域南東部のように、このようなリニアメント群が分布するからといって、鉱徴地が伴われるとは限らない。

斑岩銅鉱化帯は、リニアメント発達域の周縁部(リニアメント密度50~150m/km²)に位置するもの(Cerro Colorado, Collahuasi等)とリニアメントの相対的高密度域(リニアメント密度150~300m/km²)の中心部付近に位置するもの(Quebrada Blanca, Copaque等)に分かれる(Fig. 1-4-2)。

4-1-7 変質帯と鉱床・鉱徴地

TM画像及びGEOSCAN画像判読により得られた変質帯と鉱床・鉱徴地の関係は次のとおりである。

北部地域では、NNW-SSE方向に配列する変質帯群の一部に鉱床・鉱徴地が伴われるが、変質帯が抽出されない東側や西側の地域にも鉱徴地は存在する。斑岩銅型鉱化帯及びそれに密接する可能性を有する鉱徴地の多くは、上記の西側地域に分布する。

中央地域では、北部及び南東部を除き、多くの鉱徴地が変質帯及びその周辺に分布する。

南部地域では、西部を除き、鉱徴地は変質帯及びその周辺に分布する。

近年発見された斑岩銅型大鉱床の位置は、変質帯とは必ずしも一致しないが、変質帯から4km以内には分布している。TM画像上では、変質帯を示すカラーアノーマリーはシャープな輪郭を持たないため、抽出された変質帯は実際よりも小さくマッピングされている恐れがある。また、一般にアクセスが悪い本調査地域では既知鉱徴地の

周辺に未発見の鉱徴地が存在する可能性は高いと予想される。このような観点から、変質帯及び鉱床・鉱徴地と、これらから4km離れた周辺地域からなる範囲を鉱化作用に関連した熱水活動範囲と仮定した。Fig. 1-4-3によれば、熱水活動域は、全体的にNNW-SSE方向に分布するが、北部、中央部及び南部の各地域には、NNW-SSE方向を切るようなE-W系の熱水活動域が存在する。既知の斑岩銅型鉱化帯は、このE-W系熱水活動域中に分布している。CODELCOは中央アンデスにおける横断性磁気異常の存在、E-W方向の第四紀火山列の存在及び斑岩銅鉱床の分布から、鉱床生成に関与した貫入火成岩がE-W方向の大規模マグマ溜りに由来する考えを提案している。上記E-W系熱水活動域の存在は、この考えと調和的である。

熱水活動域は、中央地域及び南部地域ではリニアメント発達域にほぼ一致するが、北部地域では中央地域や南部地域に比べてリニアメント発達域との対応が悪く、むしろ中新世－第四紀の火山分布と良い対応を示す。

4-2 鉱床賦存のポテンシャルについて

調査地域には多数の熱水変質帯、断裂構造及び鉱徴地が広範囲に分布し、これらは互いに密接な関係にある。従って、調査地域全体としての鉱床賦存ポテンシャルは高いと考えられる。

調査地域の北部、中央部及び南部にはそれぞれ数ヶ所に斑岩銅型鉱化帯が分布し、中央部及び南部では比較的近年に巨大斑岩銅鉱床が発見され、現在操業中である。画像解析によって抽出された変質帯と、既存データから推定された斑岩銅型鉱化帯の可能性を有する鉱徴地は、既に報告されている斑岩銅鉱床ベルト中に多数存在する。これらの変質帯、鉱徴地及びその周辺域における斑岩銅鉱床の賦存ポテンシャルは高いと考えられる。

調査地域に期待されるコルディレラ型斑岩銅鉱床の賦存状況は以下のように推定される。

鉱床は暁新世－漸新世前期の貫入火成岩に伴われるものであるから、鉱床胚胎層準は漸新世前期以前の地層である。

鉱床をもたらした貫入火成岩は深部断裂を通路とし、斑岩銅鉱床の形成後期以降は浅熱水性鉱化作用の場となった断裂帯が発達したと推定されることから、斑岩銅鉱床の周辺には断裂帯が形成される。

鉱床中心部から周辺に向かってCu-Mo→Cu-FeS₂→FeS₂→Pb-Zn-Ag→Mn / Ag-Auの累帯分布が形成されるため、鉱床の周辺には鉱脈型若しくは交代型のCu又はPb・Zn・Ag又はMn又はAg・Au鉱床・鉱徴が分布する。

鉱床生成時に鉱床を中心とする変質帯が形成される。また、鉱化ステージの後期以降

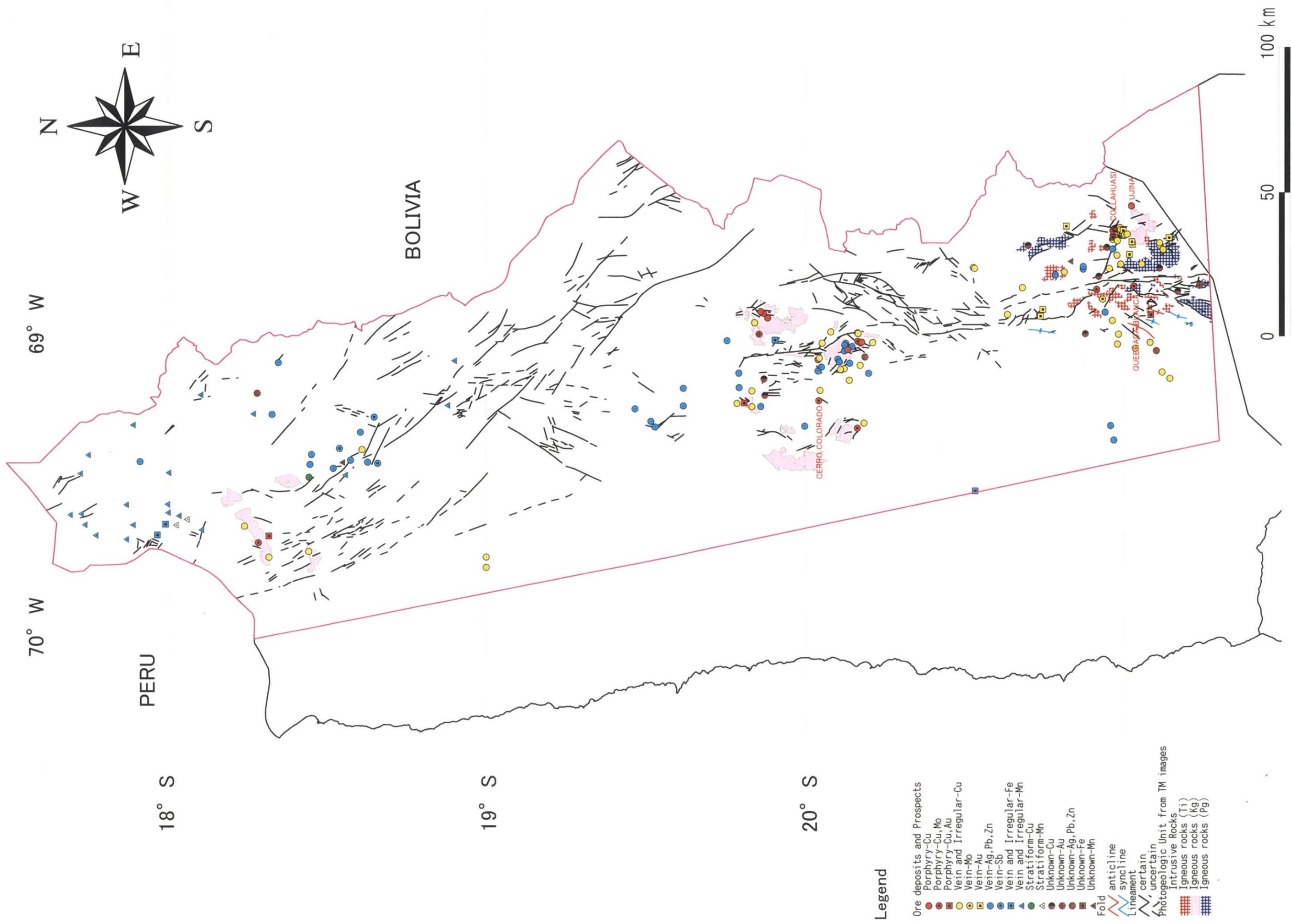


Fig. 1-4-1 Relationship among Granitoids from TM images, Ore Deposits and Prospects in the Study Area

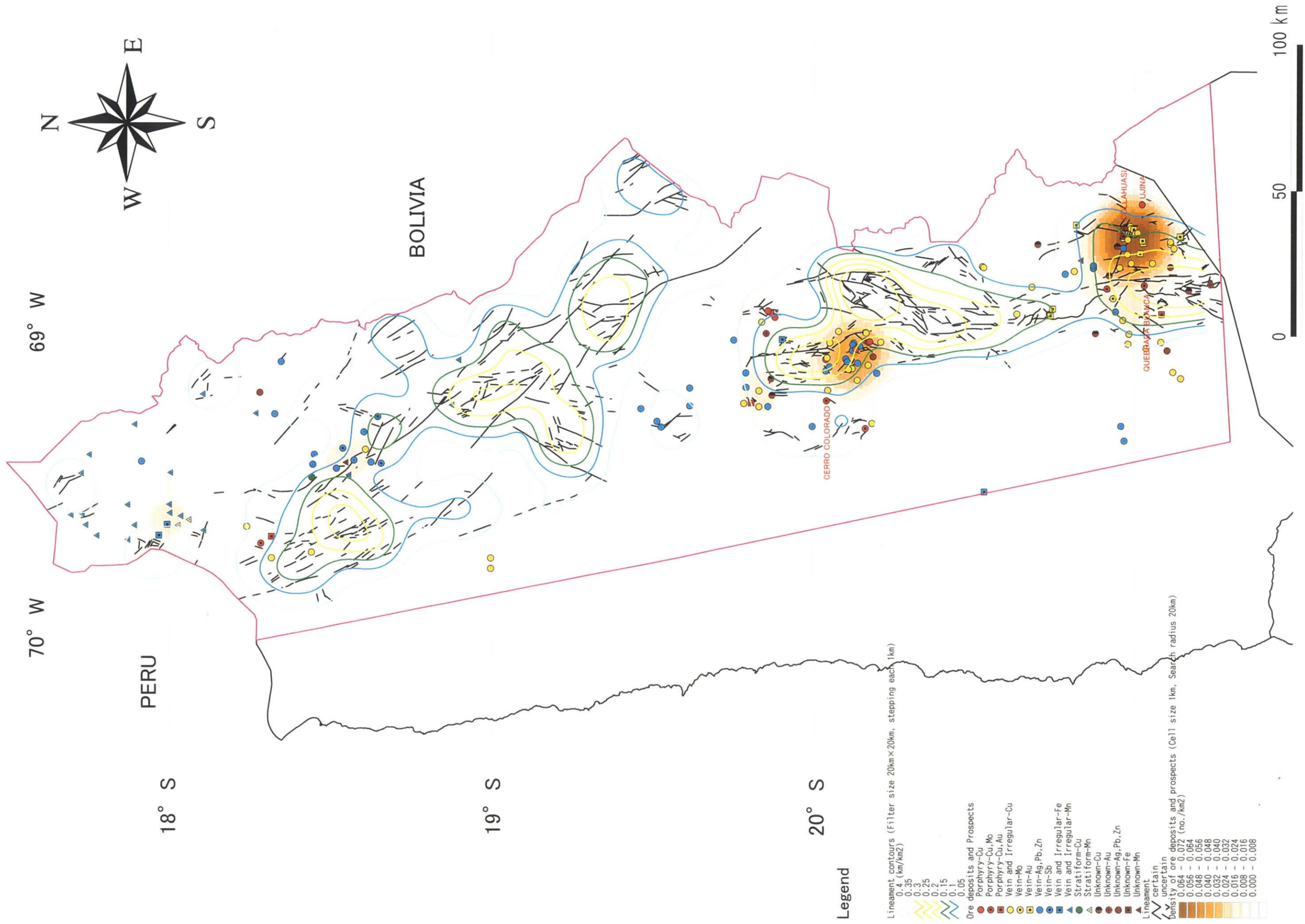


Fig. 1-4-2 Relationship between Density of Ore Deposits & Prospects and Lineaments in the Study Area

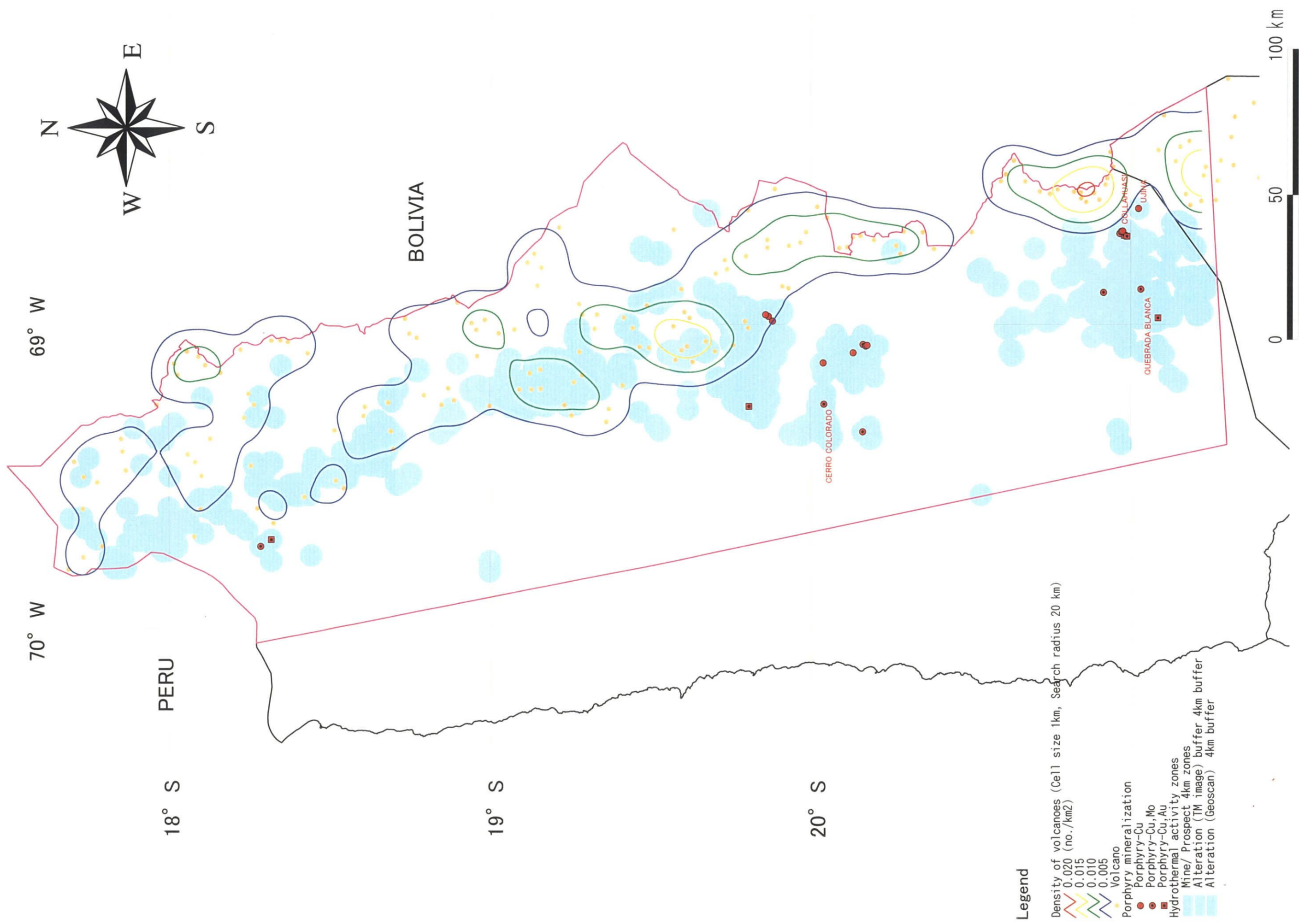


Fig. 1-4-3 Hydrothermal Activity Zones of the Study Area

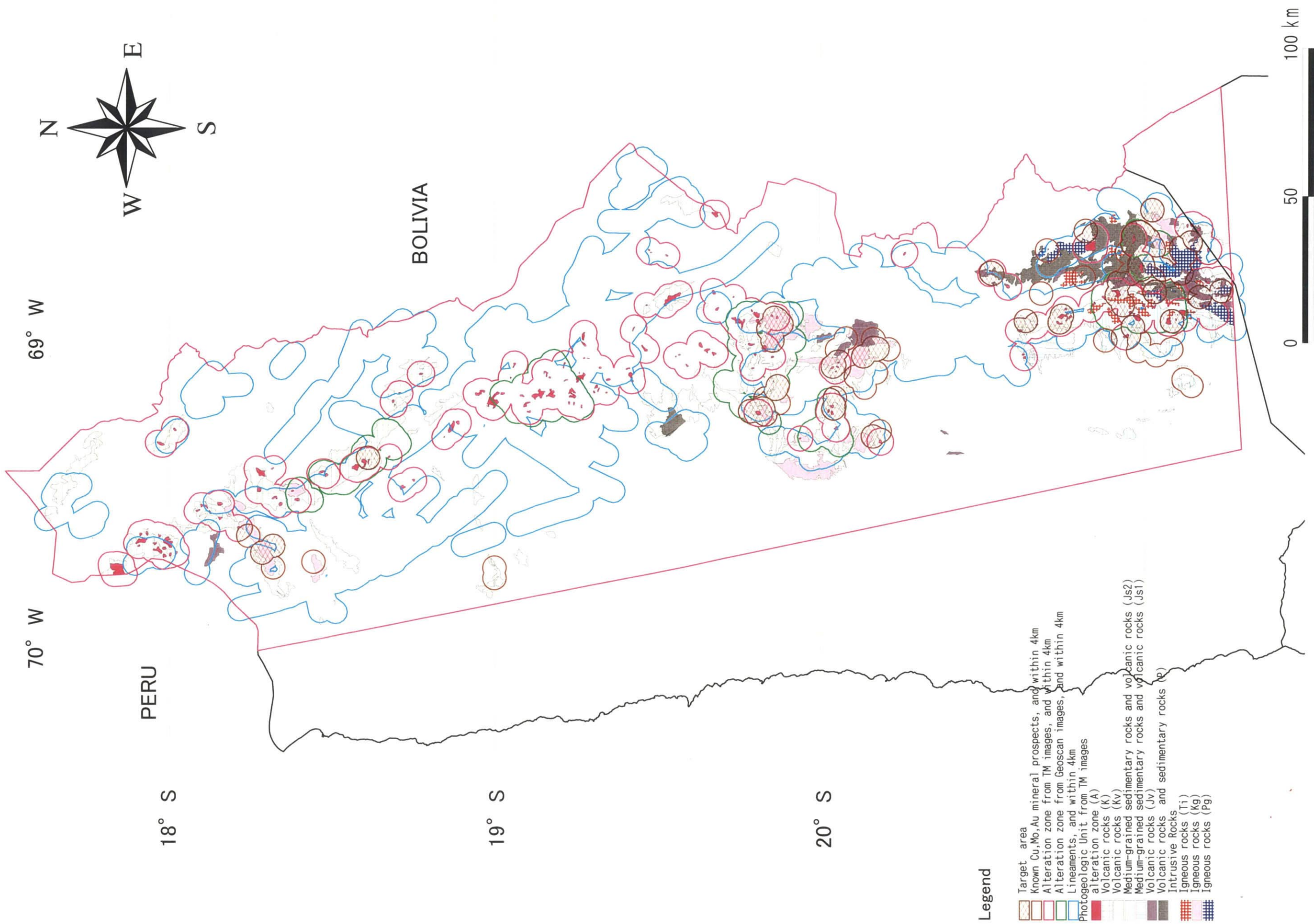


Fig. 1-4-4 Integrated Interpretation Map

は浅熱水性鉱化作用に移行し、鉱床上部には酸性変質帯や高硫化硫黄系の含Au鉱化帯が形成される。

このような一般的な鉱床賦存状況と4-1で述べた本地域における地質構造・鉱化作用の特性と鉱化規制を基に、斑岩銅鉱床賦存の有望地域として次のいずれかに該当する箇所を選定した(Fig. 1-4-4)。

斑岩銅鉱床型の鉱徴地及びその周辺4kmの範囲

漸新世前期以前の地層中に存在する鉱徴地(鉱脈型Mo, 不規則形型Cu, 鉱脈型Cu, 形態不明型Cu, 鉱脈型Au, 形態不明型Au)及び変質帯(GEOSCAN画像解析により抽出された酸性変質帯・セリサイト化変質帯及びTM画像解析により抽出された変質帯)それぞれの周辺4kmの範囲が重複する部分

なお、斑岩銅鉱床ベルト内には、斑岩銅鉱床生成後の地層に覆われたため、変質帯が抽出されない箇所にリニアメントが抽出されている部分がある。このリニアメントの一部は鉱床生成に関与した断裂がその後再活動したことにより形成された可能性があるため、その周辺には斑岩銅鉱床生成後の地層の下に斑岩銅鉱床が潜在している可能性がある。従って、このような箇所では、斑岩銅鉱床生成後の地層の厚さが薄ければ、その下部は探鉱の対象になり得ると考えられる。物理探査等によりこの地層の薄さと鉱床賦存の可能性が推定されれば当箇所の探鉱ポテンシャルは高くなる。

また、調査地域の中央部及び北部には中新世～第四紀の火成活動が広く行われた。既知鉱徴地や変質帯の周辺には、上記活動に関連して生成した浅熱水性鉱床(主として鉱脈型 Au・Ag・Pb・Zn)の賦存ポテンシャルが高いと考えられる。

第5章 結論及び提言

5-1 結論

第I州地域における第1年次調査としてGEOSCAN画像解析を含む既存データ解析、衛星画像解析及び地質調査・地化学探査が実施され、以下の結論が得られた。

1. 衛星画像(TM)解析の結果、古第三紀以前の地層の分布域とその周辺及び新第三紀中新世～第四紀火山岩類分布域に多数の変質帯が抽出された。変質帯は北部地域ではNW-SE～NNW-SSE方向に、また、中央～南部地域ではN-S～NNW-SSEに配列する。変質帯の配列方向は、変質帯の周辺に発達するリニアメントの卓越方向に調和的である。

2. GEOSCAN データから作成した可視近赤外域～短波長赤外域，短波長赤外域及び熱赤外域の各種画像を解析した結果，詳細な地質構造が把握され，また，**Tignamar, Palca, Queen Elizabeth, Cerro Colorado, Copaquiri, Collahuasi** の各地域におけるセリサイト，カオリン，明礬石及び珪酸からなる変質帯と**Mocha**地域におけるセリサイト化変質帯が抽出された。

3. 地質・鉱床に関する既存データ解析により，調査地域の既知鉱床・鉱徴地の鉱化作用がタイプ分けされ，斑岩銅型鉱化帯とそれに密接する可能性を有する鉱徴地(鉱脈型**Mo**，不規則形型**Cu**，鉱脈型**Cu**，形態不明型**Cu**，鉱脈型**Au**，形態不明型**Au**)が選定された。

4. 斑岩銅型鉱化帯とそれに密接する可能性を有する鉱徴地は，北部地域では暁新世～始新世前期の斑岩銅型鉱床ベルトに多く分布し，中央～南部地域では暁新世～始新世前期及び始新世後期～漸新世前期の両斑岩銅型鉱床ベルト中に分布する。北部～中央地域には中新世～第四紀の火成活動に関連して生成した浅熱水性の鉱化帯が存在し，その一部は斑岩銅型鉱化帯に重複していると考えられる。

5. 斑岩銅型鉱化帯とそれに密接する可能性を有する鉱徴地は，白亜紀～第三紀の貫入火成岩体(深成岩類・半深成岩類)及びその周辺に分布する。

6. 斑岩銅型鉱化帯は，北部及び中央地域では白亜紀～第三紀の貫入火成岩体又は白亜紀火山岩類中に，また，南部地域では古生代堆積岩類・火山岩類又は白亜紀火山岩類又は古生代花崗岩類又は白亜紀～第三紀の貫入火成岩体中に胚胎する。

7. 地質図上の断層及びTM画像判読から抽出したリニアメントで表される断裂構造と鉱床・鉱徴地の分布は全般に密接な関係にあり，近傍に鉱床・鉱徴地を伴うリニアメントの方向は多岐にわたる。斑岩銅型鉱化帯は，リニアメント発達域の周縁部に位置するもの(**Cerro Colorado, Collahuasi**等)とリニアメントの相対的高密度域の中心部付近に位置するもの(**Quebrada Blanca, Copaquiri**等)に分かれる。

8. 中央地域及び南部地域では，斑岩銅型鉱化帯を含む多くの鉱徴地が変質帯及びその周辺に分布するが，北部地域では，斑岩銅型鉱化帯及びそれに密接する可能性を有する鉱徴地の多くは，変質帯が抽出されない地域に分布している。

9. 変質帯及び鉱床・鉱徴地と、これらから4km離れた周辺地域からなる範囲を鉱化作用に関連した熱水活動範囲と仮定した場合、熱水活動域は、全体的にNNW-SSE方向に分布するが、北部、中央部及び南部の各地域には、NNW-SSE方向を切るようなE-W系の熱水活動域が推定される。既知の斑岩銅型鉱化帯は、このE-W系熱水活動域中に分布している。熱水活動域は、中央地域及び南部地域ではリニアメント発達域にほぼ一致するが、北部地域では中央地域や南部地域に比べてリニアメント発達域との対応が悪く、むしろ中新世－第四紀の火山分布と良い対応を示す。

10. 斑岩銅鉱床賦存の有望地域として次のいずれかに該当する箇所が選定された。

斑岩銅鉱床型の鉱徴地及びその周辺4kmの範囲

漸新世前期以前の地層中に存在し斑岩銅型鉱化帯に密接する可能性を有する鉱徴地(鉱脈型Mo, 不規則形型Cu, 鉱脈型Cu, 形態不明型Cu, 鉱脈型Au, 形態不明型Au)と変質帯(GEOSCAN画像解析により抽出された酸性変質帯・セリサイト化変質帯及びTM画像解析により抽出された変質帯)それぞれの周辺4kmの範囲が重複する部分

5-2 第2年次への提言

1. 斑岩銅鉱床賦存の有望地域として第1年次に選定された箇所のうち、第1年次に現地検証調査が実施されなかった箇所について現地検証調査を実施する。
2. 中央アンデスにおける横断性磁気異常と斑岩銅鉱化帯の分布は密接な関係を有する可能性がある。しかし、既存の空中磁気探査結果図は鉱床賦存有望箇所を抽出するには精度が粗すぎる。従って、高精度空中磁気探査を実施し、上記横断性磁気異常の詳細を把握することにより、斑岩銅鉱床賦存の有望地域として第1年次に選定された箇所に対し、さらなる絞り込みを行うとともに、新期地層に覆われているため変質帯が抽出されなかった地域における潜頭型鉱化帯の賦存有望地域を選定する。
3. 画像解析と高精度空中磁気探査の結果から抽出された斑岩銅鉱床の賦存有望地域のうち、潜頭型の鉱化帯が推定される地域に対しては、重力探査を実施し、鉱化帯を覆う被りの厚さを推定する。
4. 画像解析と高精度空中磁気探査の結果から抽出された斑岩銅鉱床の賦存有望地域に対し、地質概査を実施する。