

**ボリビア共和国ヤニ・ペレチュコ地域
資源開発協力基礎調査報告書
総括報告書**

平成 17 年 3 月
(2005年)

は し が き

日本国政府はボリビア共和国政府の要請に応え、同国のヤニ・ペレチュコ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、衛星画像解析および地化学探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（現、独立行政法人国際協力機構）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（現、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）に委託することとした。

本調査は平成 14 年度から平成 16 年度までの 3 年間にわたって実施され、ボリビア共和国政府機関、鉱山冶金副省地質鉱山局（Servicio Nacional de Geología y Minería : SERGEOMIN、現 SERGEOTECMIN）の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は 3 年間の調査結果を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ボリビア共和国政府関係機関ならびに外務省、経済産業省、在ボリビア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 17 年 2 月

独立行政法人国際協力機構

担当理事 井 沢 正

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

理事長 大 澤 秀 次 郎

資源開発協力基礎調査
総括報告書

目 次

は し が き
調査地域位置図
要 約

第 I 部 総 論

第1章 調査概要

- 1-1 調査地域及び調査目的 1
- 1-2 調査方法及び調査量 1
- 1-3 調査期間及び調査員 5

第2章 従来の調査 7

第3章 地質概要

- 3-1 調査地域周辺の一般地質 8
- 3-2 調査地域周辺の鉱化作用 8

第4章 調査地域の状況

- 4-1 位置及び交通 10
- 4-2 地形及び水系 10
- 4-3 気候及び植生 11

第5章 結論及び将来への提言

- 5-1 結 論 12
- 5-2 将来への提言 15

第 II 部 各 論

第1章 衛星画像解析

- 1-1 目 的 17
- 1-2 画像判読・解析 17
- 1-3 考 察 23

第2章 既存データ解析

- 2-1 目 的 24

| | | |
|--------------------|-----------------|----|
| 2-2 | 地質概要 | 24 |
| 2-3 | 地質構造 | 28 |
| 2-4 | 鉍床 | 28 |
| 2-5 | 考察 | 36 |
| 第3章 広域調査 | | |
| 3-1 | 地質調査 | 32 |
| 3-2 | 沢砂地化学探査 | 37 |
| 3-3 | 石墨化度調査 | 40 |
| 第4章 地区別調査結果 | | |
| 4-1 | ペレチュコ地区 | 43 |
| 4-2 | イロ・イロ地区 | 48 |
| 4-3 | ケジュワコタ地区 | 56 |
| 4-4 | チャラサニ西地区（1次調査） | 57 |
| 4-5 | チャラサニ西地区（2次調査） | 58 |
| 4-6 | アウカパタ地区 | 62 |
| 4-7 | タカコマ地区 | 70 |
| 4-8 | チュチュ・ハウイラ地区 | 73 |
| 第5章 調査結果の総合検討 | | |
| 5-1 | 地質・地質構造 | 75 |
| 5-2 | 火成活動 | 76 |
| 5-3 | 変成作用（石墨化度、X線回折） | 78 |
| 5-4 | 鉍化作用の特性 | 78 |
| 第 III 部 結論及び将来への提言 | | |
| 第1章 | 結論 | 87 |
| 第2章 | 将来への提言 | 90 |

参考文献

【挿入図目次】

| | | |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 第1図 | 調査地域位置図 | (3) |
| 第2図 | 調査フローシート | 2 |
| 第3図 | 鉱床有望地区抽出フローチャート | 3 |
| 第4図 | 調査地区位置図 | 4 |
| 第5図 | 広域地質概略図 | 9 |
| 第6図 | フォールスカラー画像 | 18 |
| 第7図 | リニアメント解析図 | 19 |
| 第8図 | リニアメント密度分布図 | 20 |
| 第9図 | 鉱物分布図 | 22 |
| 第10図 | 地質模式層序図 | 25 |
| 第11図 | 調査地域地質図 | 26 |
| 第12図 | 既知鉱徴分布図 | 29 |
| 第13図 | 火成岩類三角ダイヤグラム | 34 |
| 第14図 | 沢砂地化学探査異常図 (Au 広域) | 39 |
| 第15図 | 石墨化度分布図 | 42 |
| 第16図 | ペレチュコ地区地質図 | 44 |
| 第17図 | 地質断面図 | 45 |
| 第18図 | ペレチュコ地区X線解析結果図 | 46 |
| 第19図 | ペレチュコ地区石墨化度分布図 | 47 |
| 第20図 | イロ・イロ地区地質図 | 52 |
| 第21図 | イロ・イロ地区X線解析結果図 | 54 |
| 第22図 | イロ・イロ地区石墨化度分布図 | 55 |
| 第23図 | チャラサニ西地区地質図 (第二次) | 59 |
| 第24図 | チャラサニ西地区地質断面図 (第二次) | 60 |
| 第25図 | チャラサニ西地区土壌地化学探査総合解析図 | 61 |
| 第26図 | アウカパタ地区地質図 | 63 |
| 第27図 | アウカパタ地区土壌地化学探査因子得点分布図(Au グループ) | 66 |
| 第28図 | アウカパタ地区土壌地化学探査因子得点分布図(Cu グループ) | 67 |
| 第29図 | アウカパタ地区ワンコ区域地質図 | 68 |
| 第30図 | アウカパタ地区ワンコ区域地質断面図 | 69 |
| 第31図 | タカコマ地区地質図 | 71 |
| 第32図 | マグマ活動期と鉱化・変質作用時期 | 77 |
| 第33-1図 | 流体包有物の均質化温度と塩濃度の関係図 (ペレチュコ～イロ・イロ地区) | 83 |
| 第33-2図 | 流体包有物の均質化温度と塩濃度の関係図 (アウカパタ～タカコマ地区) | 83 |

【挿入表目次】

| | | |
|-------|---------------------|----|
| 第1表 | 調査方法及び調査量 | 5 |
| 第2表 | 調査期間 | 5 |
| 第3-1表 | 現地調査員(1) | 6 |
| 第3-2表 | 現地調査員(2) | 6 |
| 第4表 | 月別平均降雨量 | 11 |
| 第5表 | 沢砂地化学探査分析結果解析表 | 40 |
| 第6表 | 流体包有物測定結果 | 49 |
| 第7表 | 化石鑑定結果 | 75 |
| 第8表 | マント型鉱床の地区別・鉱床別鉱体の傾斜 | 80 |
| 第9表 | 金鉱床のタイプ別流体包有物測定値比較 | 82 |

要 約

本報告書はボリビア共和国ヤニ・ペレチュコ地域を対象に実施した資源開発協力基礎調査資源開発調査の平成14年度から平成16年度にいたる3年間の調査結果をとりまとめた報告書である。本調査は、対象地域において、地質状況および鉱床賦存状況を解明することにより新鉱床を発見することを目的とする。

本調査の実施により、新鉱床の発見には至らなかったが、調査結果を要約すると以下の通りである。

地 質

- 1) アウカパタ地区で貝化石が発見され、シルル紀ーデボン紀と同定されたことから、シルル系ーデボン系分布域が北東に広がった。
- 2) チャラサニ地区に赤色砂岩層が、調査地域南西端に赤色の火山性堆積物が確認され、時代は確認されなかった。後者は地質層序対比のための鍵層の役割を果たす可能性がある。

火成作用

- 1) イリャンプ花崗閃緑岩体と同時期の貫入であると推定されていたウワト花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代は 93.4 ± 2.6 Ma であり、上部白亜紀初頭の年代を示した。
- 2) 新第三系の貫入岩であると推定されていたチャラサニ複合半深成岩体は、東側が 97.7 ± 2.5 Ma および 94.9 ± 2.6 Ma、西側が 47.1 ± 1.0 Ma および 56.8 ± 1.5 Ma の値を示した。白亜紀ガリック世に東側から始まった火成活動が、古第三紀始新世頃は西側に移動したことを暗示している。
- 3) タカコマ地区の安山岩質貫入岩およびシート状岩脈は、 175.5 ± 4.9 Ma ~ 83.8 ± 2.3 Ma を示した。変質の程度から、安山岩質岩類の活動は少なくとも 175 Ma 以前の生成年代と言える。この年代はイリャンプ花崗閃緑岩類等の活動年代に相当する。

変成作用

- 1) 地域一帯の変成相は緑色片岩相の緑泥石帯にあたり、黒雲母アイソグラッドにも達していない。また本調査では珪線石、堇青石、紅柱石のいずれも確認されていない。
- 2) 石墨化度による温度分布の方向はイリャンプ花崗岩体やソンゴーヤニ花崗岩体から伸びるアンデス方向を示している。北部地域でもアンデス方向を示すが、南部地域に比べ高温域が広い。

鉱化作用

- 1) 調査地域内の確認された鉱化作用は、マント型金鉱床、(金)ー銅石英脈の鉱脈型鉱床、多金属鉱脈型鉱床及び氷河成(融氷流水～河川堆積成)砂金鉱床である。

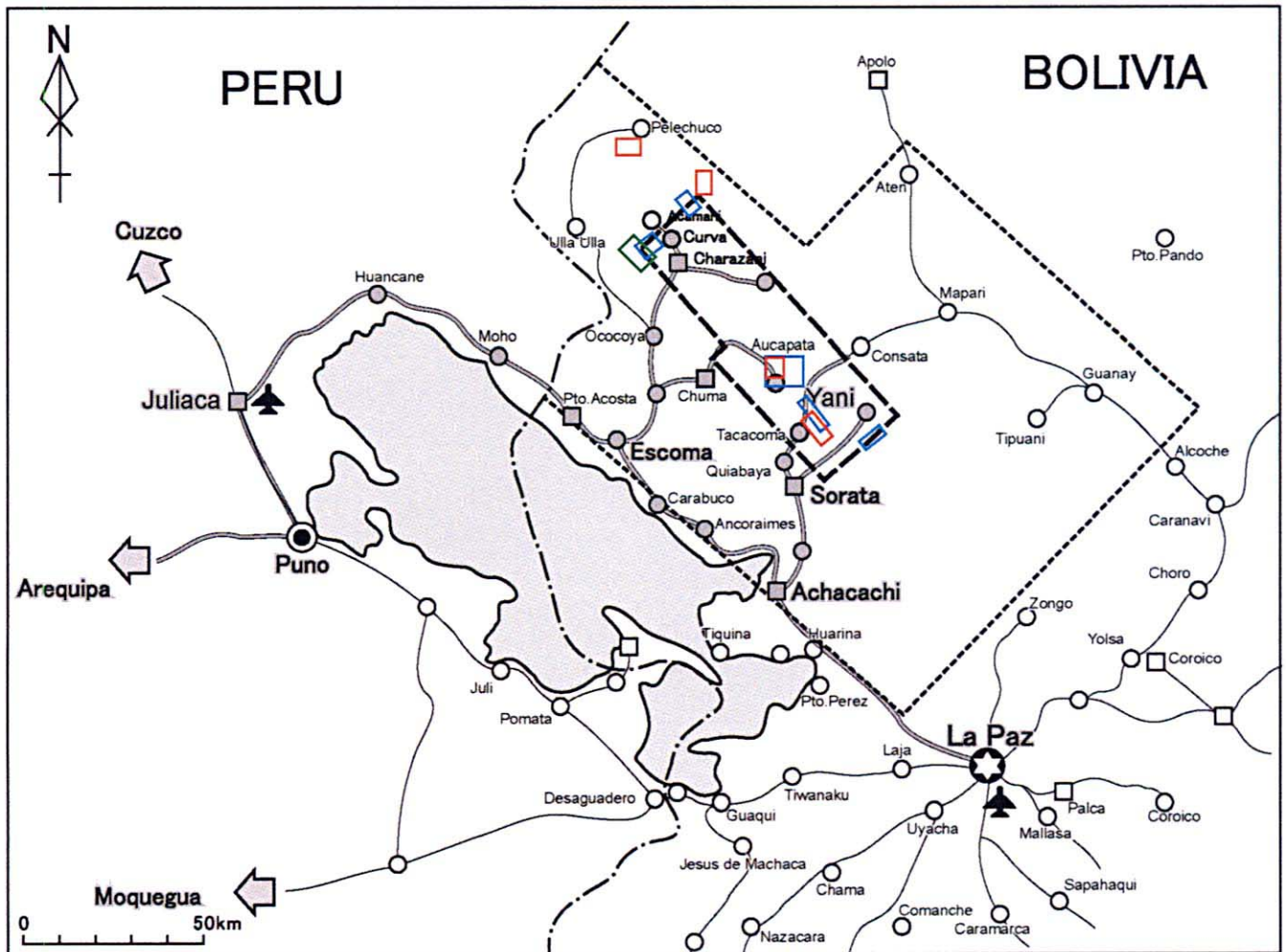
- 2) マント型金鉱床は、地質構造が明瞭に確認された箇所では背斜軸部に胚胎しており、背斜構造が重要である。
- 3) マント型金鉱床は、石墨化度で15～30（約400℃以下）の範囲の堆積岩中に胚胎することが確認された。
- 4) マント型金鉱床は、従来オールドビス系に胚胎されるとされていたが、シルル系―デボン系堆積岩中にも胚胎していることが判明した。
- 5) マント型金鉱床は、一部の金―銅石英脈の鉱脈型鉱床とともに成因的に造山活動時に広域変成・変形と同時に生成されたオロジェニック金鉱床と同様の鉱床である可能性が高い（ボリビア型オロジェニック金鉱床と仮称する）。
- 6) アカマニ鉱徴地やウワト花崗閃緑岩周辺の多金属鉱化作用は、白亜紀中期のガリック世の時期と考えられる。
- 7) 南部地域の（金）―銅石英脈の生成時期は、多金属鉱化作用とほぼ同じ時期の白亜紀後期のガリック世～セノニアン世と考えられる

全地域とも、マント型金鉱床は、オールドビス系だけでなくシルル系―デボン系中にも胚胎する造山運動に伴われて形成されたボリビア型オロジェニック金鉱床と考えられる。しかし、不明な点が多く今後の十分な調査が望まれる。

もしマント型金鉱床がこの種の鉱化作用の場合、鉱床賦存のポテンシャルは古生代堆積岩類の分布する東部アンデス山脈の北東斜面にも広がる。

典型的なオロジェニック金鉱床の場合には、鉱液をもたらしたとされる大規模剪断断層帯が存在し鉱床は大規模となるが、ヤニーペレチュコ地域では剪断断層帯が確認されてなく、ほとんど背斜構造に伴われ小規模である。

しかし、鉱床賦存の可能性が拡大した北東地域中には、依然剪断断層帯の存在も考えられ、剪断帯に胚胎している鉱床も期待される。



- ★ Capital
- City
- Town
- Village
- Study Area
- Field Survey Area (Phase I)
- Field Survey Area (Phase II Stage I)
- Field Survey Area (Phase II Stage II)
- Field Survey Area (Phase III)

第1図 調査地域位置図

Fig. 1 Ubicacion de la zona materia de estudio

第 I 部 總 論

第1章 調査概要

1-1 調査地域及び調査目的

調査対象地域は、ペルーと国境を接するボリビア北西部の南緯 14° 37' ~16° 24'、西経 67° 35' ~69° 22' 間に位置し(第1図)、地勢上は、東部アンデス山脈に属する。鉱床生成区からみれば、東部アンデス錫鉱床生成区および多金属鉱床生成区に属し、錫、金、タングステン、鉛・亜鉛等の鉱脈鉱床の賦存が知られているが、未だ組織的、系統的な調査・解析は実施されていない地域である。

ボリビア政府は、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、2002年10月に調査計画協議のための調査団を派遣し、同年10月16日に Scope of Work に調印した。

本調査の第1年次は、対象地域の衛星画像解析、既存データ解析および地化学探査を実施し、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し、さらに第2年次は、地質・地質構造と多金属鉱脈鉱床および熱水性金鉱床の鉱化作用との関係を把握し、また、変質帯の特性および地化学異常分布状況を考慮し、鉱床賦存が期待される地域の絞り込みを行うことを目的とした。さらに、最終の第3年次は調査地域内の地質状況および鉱床賦存状況を解明することにより新鉱床を発見することにあつた。

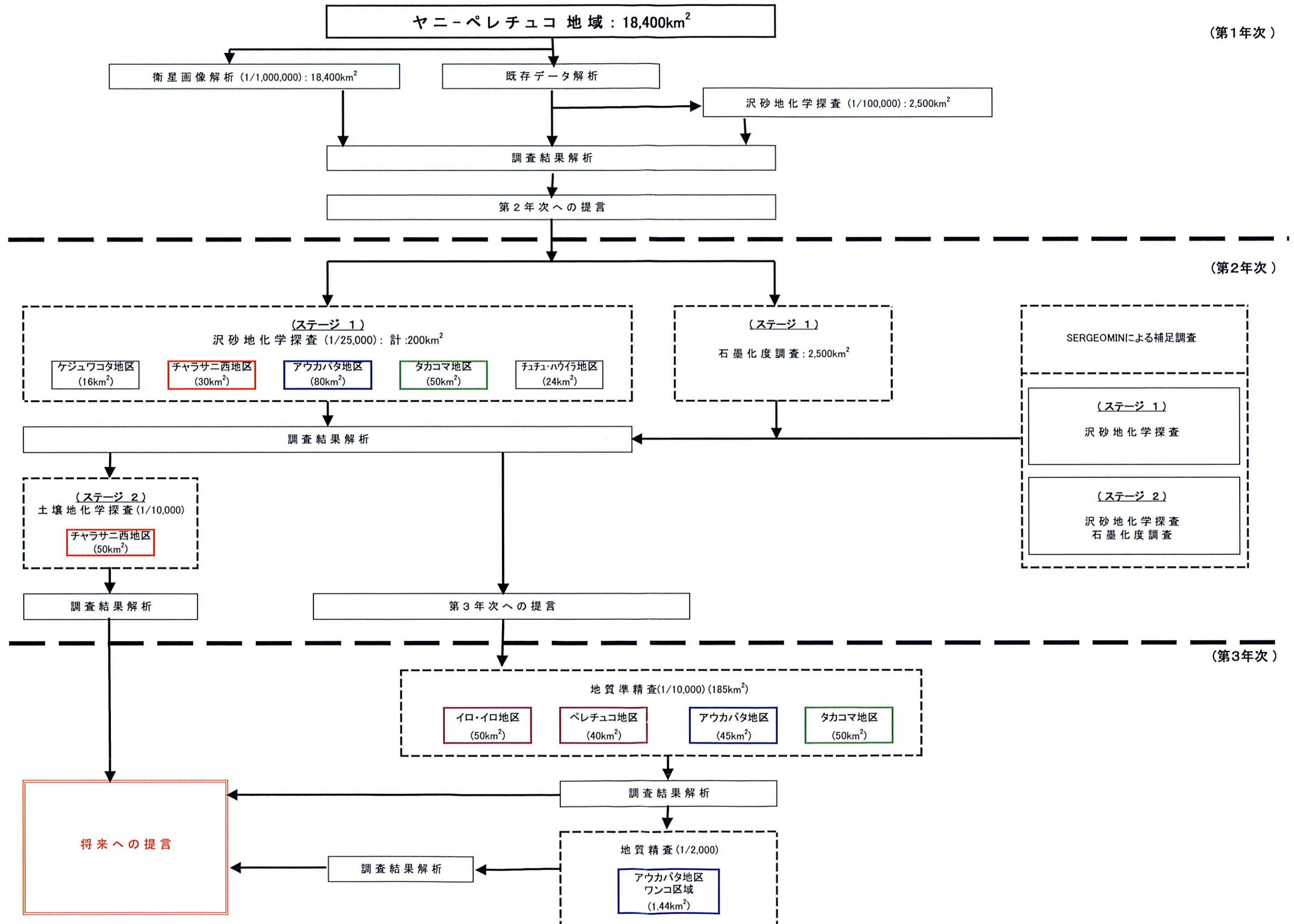
1-2 調査方法及び調査量

調査は、平成14年度を第1年次とし、3年間にわたって実施された。各年次の調査方法を第2図のフローシートに、また調査方法別の調査量を第1表に示す。鉱床有望地区の抽出は、第3図のフローチャートに従って実施された。各調査地区の位置を第4図に示す。

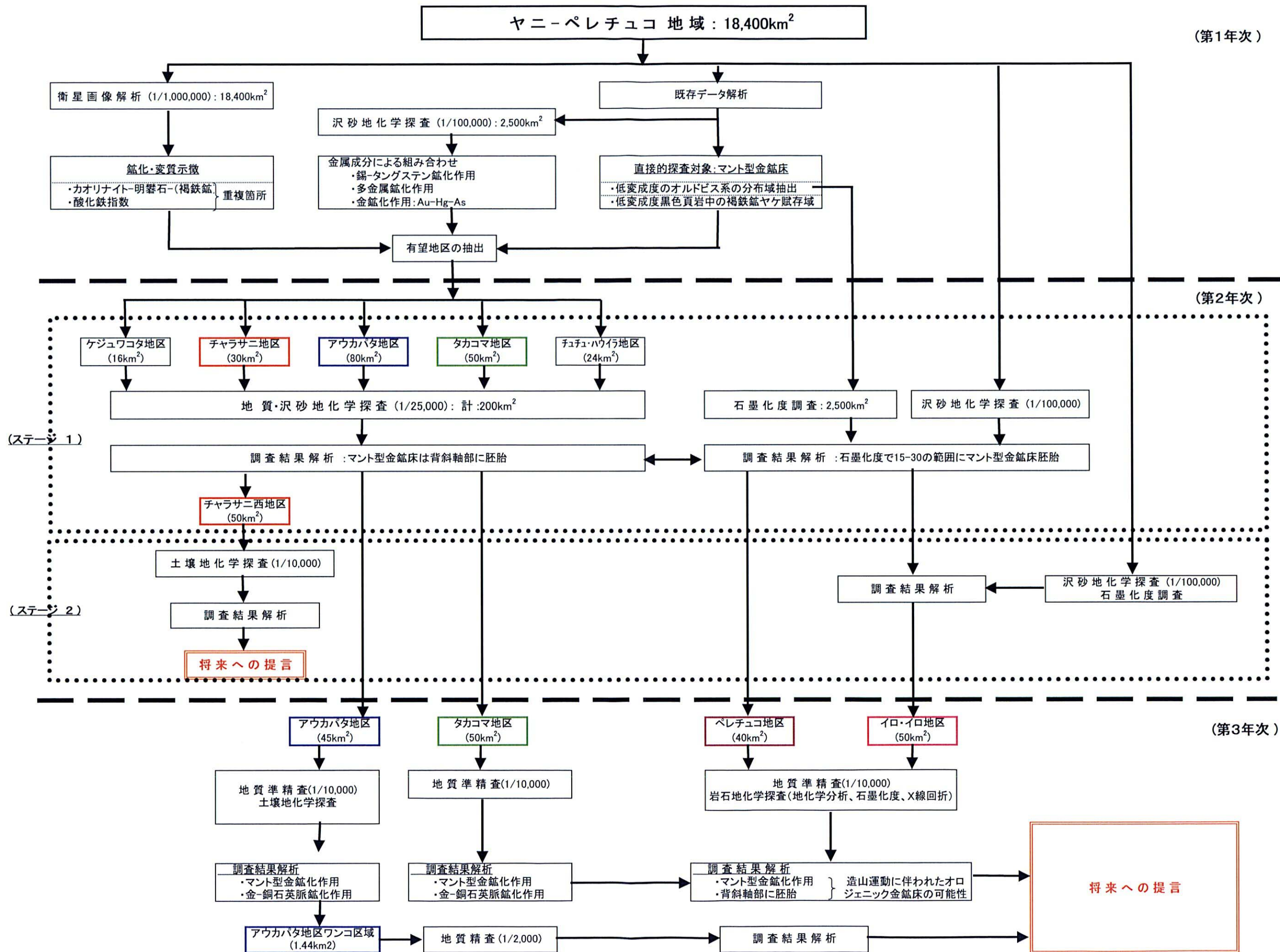
第1年次調査は、対象範囲全域の ASTER 画像解析および既存データ解析が実施され、更に既存データ解析により抽出された南緯 15° 02' ~15° 50'、西経 68° 24' ~69° 06' 間の面積 2,500km² を対象として地化学探査が実施された。

第2年次調査は、第1年次調査で抽出されたケジュワコタ(Quellhuacota)、チャラサニ西(Charazani W)、アウカパタ(Aucapata)、タカコマ(Tacacoma)、チュチュ・ハウイラ(Chuchu Jahuira)の4地区と一部に金の異常の認められたチャラサニ西地区の計5地区で第1次の地質調査および詳細な沢砂地化学探査が、さらにその結果を受けてチャラサニ西地区で第2次の土壌地化学探査が実施された。また、調査地域全体で熱変遷履歴を推察するために石墨化度測定用岩石試料が採取された。

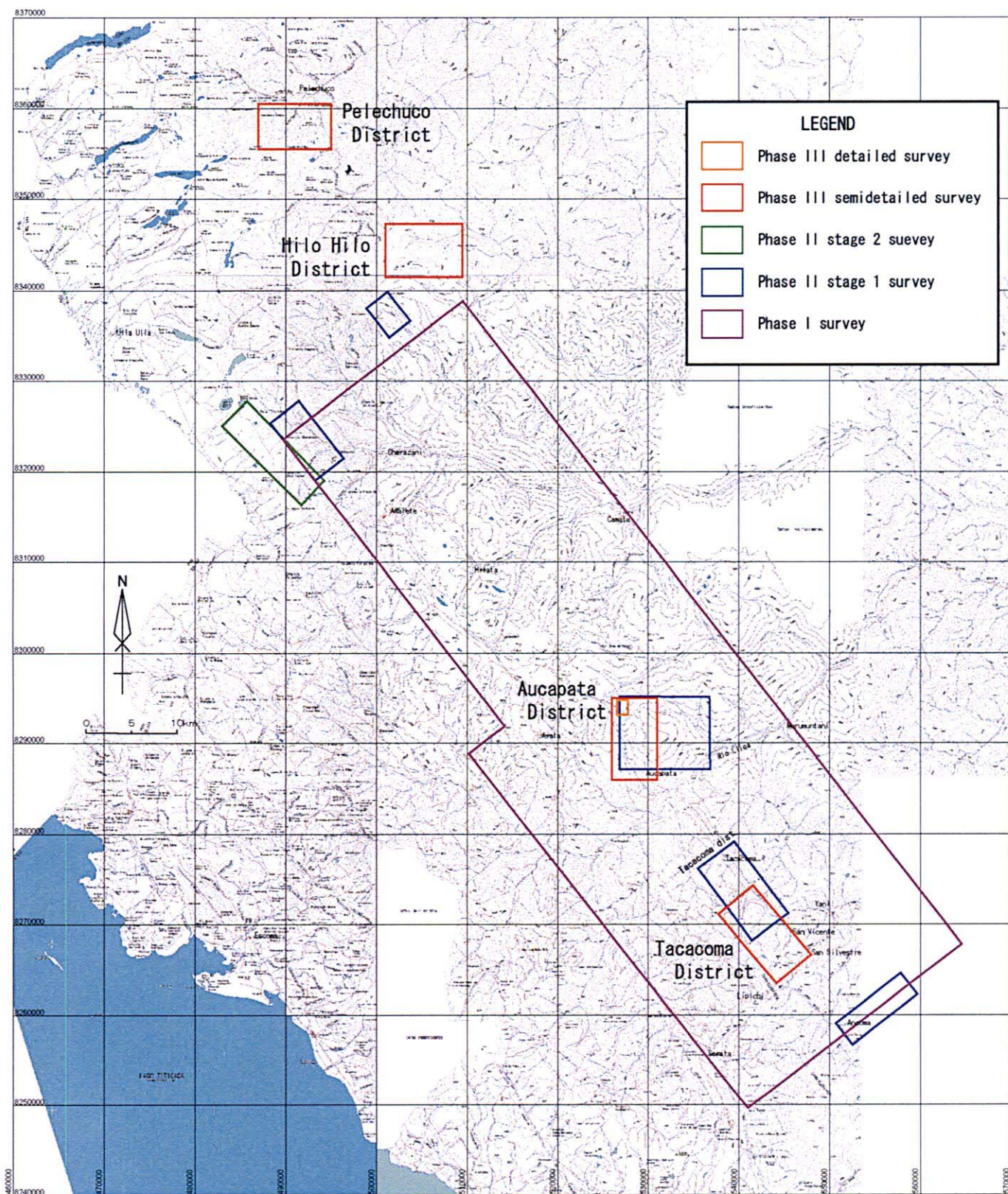
第3年次調査は、前年度までの調査で抽出された、アウカパタ地区、タカコマ地区、ペレチュコ(Pelechuco)地区およびイロ・イロ(Hilo Hilo)地区の4地区で地質調査・地化学探査(土壌、岩石)が実施され、さらに引き続いてアウカパタ地区で詳細調査がなされた。



第2図 調査フローシート



第3図 鉱床有望地区抽出フローチャート



第4図 調査地区位置図

Fig. 4 Mapa de ubicacion del area del estudio

表1 調査方法及び調査量

| | 第1年次 (2002) | 第2年次(2003) | | 第3年次 (2004) | 計 (2002-2004) |
|------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | ステージ I | ステージ II | | |
| 既存データ解析 | 18,400km ² | | | | 18,400km ² |
| 衛星画像解析 | 18,400km ² | | | | 18,400km ² |
| 地化学探査 (1/100,000) | 2,500km ² | | | | 2,500km ² |
| 地質調査 (1/25,000) | | 200km ² | | | 200km ² |
| (1/10,000) | | | 50km ² -km | 185km ² 230km | 235km ² 230km |
| (1/2,000) | | | | 1.44km ² 30km | 1.44km ² 30km |
| 【室内試験】 地化学分析 | | | | | |
| (岩石) | | | | 130 | 130 |
| (沢砂) | 467 | 228+(148) | (52) | | 685+(200) |
| (重鉱物) | 49 | 17+(3) | | | 66+(3) |
| (土壌) | | | 502 | 330 | 832 |
| 鉱石化学分析 | 50 | 64+(12) | 5 | 375 | 494+(12) |
| 岩石薄片観察 | 10 | 12 | 11 | 20 | 53 |
| 鉱石研磨片観察 | 13 | 12 | 5 | 20 | 50 |
| X線回折解析 | 21 | 10 | 5 | 110 | 146 |
| 流体包有物測定 | 6 | 18 | | 40 | 64 |
| 石墨化度測定 | | 261 | (54) | 110 | 371+(54) |
| K-Ar年代測定 | 5 | 3 | | 6 | 14 |
| 全岩分析 | 5 | | | | 5 |

注：() は SERGEOMIN(現 SERGEOTECEMIN)による採取試料数で外数

1-3 調査期間及び調査員

3年間の現地調査と解析期間を第2表に示し、本調査に関わった調査員を第3表に示す。

表2 調査期間

| | | 現地調査期間 | 解析期間 |
|------|---------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| 第1年次 | | Nov.17,2002-Dec.21,2002 | Nov.8,2002-Mar.10,2003 |
| 第2年次 | ステージ I | Jun.23,2003-Aug.6,2003 | Jul.27,2003-Sep.30,2003 |
| | ステージ II | Jan.10,2004-Feb.20,2004 | Feb.10,2004-Mar.19,2004 |
| 第3年次 | | Aug.21,2004-Nov.19,2004 | Sep.25,2004-Oct.1,2004 Nov.9,2004-Feb.18,2005 |

表 3-1 現地調査員(1)

| 日 本 側 | | ボリビア共和国側 | |
|------------|----------|--------------------------|--------|
| 氏 名 | 所 属 | 氏 名 | 所 属 |
| 森本 英雄 (団長) | 国際協力事業団 | Oswaldo Ramirez Guzman | 金属鉱業次官 |
| 橋場 芳文 | 資源エネルギー庁 | Jebner Zambrana Roman | 地質鉱山局長 |
| 山路 法宏 | 国際協力事業団 | Oscar Kempff Bacigalupo | 地質鉱山局 |
| 栗原 政臣 | 金属鉱業事業団 | Sohrab Tawackoli | 地質鉱山局 |
| 上木 隆司 | 金属鉱業事業団 | Fernando Murillo Salazar | 地質鉱山局 |

表 3-2 現地調査員(2)

| 日 本 側 三井金属資源開発(株) | | ボリビア共和国側 地質鉱山局 | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| (氏名) | (役割) | (氏名) | (役割) |
| 第1年次 濱 博也 佐藤英太郎 石川 潤一 勝 野 豊 高 見 明 武部 晃充 松 本 陽 | 調査責任者 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 | 第1年次 Fernando Murillo Pedro Rivero Roberto Alfaro Roberto Trigo Jose Luis Argandoña Hector Vargas Santi John Mendez | 調査責任者 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 |
| 第2年次ステージ I 橋本 守男 勝 野 豊 高 見 明 武部 晃充 | 調査責任者 地化学探査 地化学探査 地化学探査 | 第2年次ステージ I Fernando Murillo Roberto Trigo Jose Luis Argandoña Hector Vargas Santi Bernardino Coronado | 調査責任者 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 |
| 第2年次ステージ II 橋本 守男 山 田 毅 武部 晃充 古 川 昇 | 調査責任者 地化学探査 地化学探査 地化学探査 | 第2年次ステージ II Fernando Murillo Roberto Trigo Ivar Alcocer Rodrigez Hector Vargas Santi Bernardino Coronado | 調査責任者 地化学探査 地化学探査 地化学探査 地化学探査 |
| 第3年次 橋本 守男 高 見 明 武部 晃充 浅利 金三 勝 野 豊 | 調査責任者 地質調査 地質調査 地質調査 地質調査 | 第3年次 Hector Vargas Santi Roberto Trigo Jose Luis Argandoña Oscar Almedas Alarcon Bernardino Coronado | 調査責任者 地質調査 地質調査 地質調査 地質調査 |

第2章 従来の調査

調査地域では、インカ時代から貴金属、銅等の採掘が行われていたとされる。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殆どなされておらず、1974年の大統領令 D. S. 11614 により国連回転基金の協力のもと、SERGEOMIN の前身の GEOBOL (Servicio Geológico de Bolivia) により開始された “Proyecto Cordillera (Proyecto de Prospección Minera en la Cordillera)”、により、卑金属を対象とした地化学探査が実施された。また、1996年からボリヴィア、ペルー、チリおよびアルゼンチンの四カ国協同による “Multinacional Andean Proyecto” がアンデス山脈の金属鉱床探査を目的に実施された。調査地域を含むボリヴィア全土の 100 万分の 1 の地質図 (SERGEOMIN, 1998) が編纂されてはいるが、これを解説する地質説明書は未整備である。これに替わるものとして “Compendio de Geología de Bolivia (ボリヴィア地質概要)” が YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos) の技術報告書として SERGEOMIN との共同執筆の形で 2000 年に公刊されている。

調査対象地域自体についての組織的な地域研究は未だ実施されていないが、リモートセンシングを利用した地質判読図素案が CIASER (Centro de Investigación y Aplicación de Sensores Remotos, 1985) により提案されている。

鉱床生成区については、COMIBOL 設立 25 周年記念出版であるボリヴィアの鉱床生成区 1/150 万概況図 (COMIBOL, 1977) に簡潔に纏められている。また、前述 YPFB (2000) にも鉱床区についての簡単な記載がある。

第3章 地質概要

3-1 調査地域周辺の一般地質

本調査対象地域は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。これらを買いてパリスカン変動期に貫入したソンゴ-ヤニ(Zongo-Yani)底盤、パリスカン変動期後のイリヤンプ(Illampu)底盤およびウワト(Huato)岩株、新第三紀初頭のチャラサニ(Charazani)複合岩体が分布する(第5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、大局的には北東部に古生界の基盤岩類が、南西に向け順次若い地質単元が分布する。褶曲構造はアンデストレンドに調和的な配列をなし、比較的穏やかな複合背斜構造をなす。背斜部では引き摺り褶曲に伴う高角度の逆断層も認められる。断層構造も圧縮応力場に対応する走向断層、特に黒色頁岩中の層内滑り、が顕著に認められる。また展張応力場に対応する横断断層がNE-SWあるいはN-S方向を持ち走向断層に斜交する。ジュラ紀前期には展張応力場におけるグラールベン構造運動が生じたと言われるが、現地での確認は出来なかった。

調査対象地域の中央部には、北東部のグアポーレ(Guapole)剛塊と南西部のアレキーパーワリーナ(Arequipa-Huarina)地塊とを境する、NW-SEの伸張を有するCordillera Real断層帯が分布する。

3-2 調査地域周辺の鉱化作用

調査対象地域は、ボリヴィアの鉱床生成区分に従えば、錫鉱床帯および東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置する。

調査対象地域内に記載される既知鉱床および鉱徴(以下鉱徴と総称する)はCordillera Proyectoの鉱徴地分布図を参照すれば、201箇所が記載されている(第12図)。その鉱種は、錫-タングステン鉱徴、金鉱徴、銅・鉛・亜鉛鉱徴、アンチモン鉱徴、モリブデン鉱徴、ウラン鉱徴、バリウム-水銀鉱徴および鉱種不明である。

これらの鉱徴の分布は、調査対象地域中央以北に金および銅・鉛・亜鉛鉱徴が、南部に錫-タングステン鉱徴が位置する。アンチモン鉱徴の分布は銅・鉛・亜鉛鉱徴の分布に重なるものが主体をなす。

地化学探査範囲内に分布する鉱徴は、71箇所が記載されている。これらの鉱徴の鉱種は、金銀を含む鉛・亜鉛鉱徴、金鉱徴、アンチモン鉱徴、錫鉱徴、タングステン鉱徴、錫-タングステン鉱徴、ビスマス(錫-タングステン)鉱徴、錫-鉛鉱徴、ウラン鉱徴および鉱種不明である。これらの鉱徴の所在地を概観すれば金、錫、タングステン鉱徴は地化学探査範囲の南側に主として分布し、鉛・亜鉛、アンチモン鉱徴は主として地化学探査範囲の中央部およびその北側に分布する。

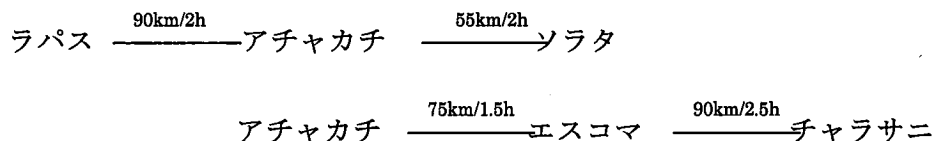
第4章 調査地域の状況

4-1 位置及び交通

Scope of Work に示される調査対象範囲は、首都ラパスの北西に位置し、西経 $67^{\circ} 35' \sim 69^{\circ} 22'$ 間の東西約 190 km、南緯 $14^{\circ} 37' \sim 16^{\circ} 24'$ 間の南北約 190km 間に広がる北西-南東に伸張する多角形で、北西部はペルーとの国境に接する面積約 18,400 km² の範囲である (第1図)。

調査地域は行政区ではラパス県に属し、その中央部に位置する。地域内の主要都市は調査地域南東端のソラタ (Sorata) および北西部のチャラサニ (Charazani) で、その他は小規模な村落が点在するのみである。

調査地域へは首都のラパスからチチカカ湖沿いの国道 (舗装道) を経由し、前記主要都市に達することが出来る。ソラターチャラサニ間は未架橋のジーカ (Llica) 川に阻まれ直接往来することは出来ず、一端上述の国道まで戻り、再度入山する必要があったが、最終年度には乾期のみ渡河が可能となった。調査地域内の交通路網は未開発かつ未整備であり、地形の急峻さによる路面への落石、地盤の崩落、泥濘化した路面の悪さ等により、車の進行速度は最大 20km/時、平均 10km/時であり、調査の進捗を妨げる大きな要因となっている。調査地域内の主要都市までの主要工程を以下に示す。



4-2 地形及び水系

ボリビア共和国の地形区分はチリ共和国との国境をなす西部アンデス山脈を西縁とし、東に向かいアルティプラノ、東部アンデス山脈および東縁のブラジル盾状地に連なるチャコ-ベニアナ平原の5単元に大別される。東部アンデス山脈は更に東部アンデス山系とその東のサブアンデス帯とに区分される。調査対象地域は中央部を東部アンデス山系が占め、西縁および東縁をそれぞれアルティプラノおよびサブアンデス帯の一部が位置する。調査実施範囲は、東部アンデス山系脊梁部に位置する。

調査対象地域における西縁のアルティプラノは、湖面海拔 3,810m のチチカカ湖に連なる狭小な丘陵地を形成し、東部の東部アンデス山稜へと連続する。東部アンデス山系は海拔 6368m に達する万年雪に覆われたイリヤンプ山 (Nevado Illampu) を最高峰とし、北西-南東の伸張方向を有する雪山連山よりなる急峻な地形を示す。東縁のサブアンデス帯は、標高 2,500m~1000m を示し、表面的にはなだらかな丘陵地をなすが、谷筋は深く幼年期地形をなす。

調査対象地域の主要河川は東部アンデス山系の脊梁部の西側はほぼ北東から南西方向へ、東側は南西から北東方向へ流下するが、東部では、北西-南東方向のいわゆるアンデス方向への屈曲が顕著に認められる。小河川は樹枝状に北西-南東~南北の方向性を持ち発達する。

4-3 気候及び植生

本地域の気候は、東部アンデス山岳地帯とその山麓地帯とは全く異なる。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月までの雨期、4月から10月までが乾季とに明瞭に区分される。雨期は殆ど常に雨雲に覆われ雪や雹・霽を伴う降雨があり、年間降雨量1,900mmにも達する。一方山麓部は山稜部の雨雲に覆われ曇天となることはあっても、比較的降雨量は少なく、日照時間も相対的に長く、年間降雨量は900mm程度である。気温は山岳部では乾季には日較差が大きく、最高気温は20℃以上に、最低気温は-10℃以下になることがある。山麓部、特にサブアンデス帯においては気温の変化に乏しく、平均気温は10℃程度である。

地化学探査地域内での主要観測地点の1992～2001年の平均降雨データを次表に示す。

第4表 月別平均降雨量

| 月別 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計 |
|-------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|------|
| ソラタ | 205 | 160 | 165 | 72 | 15 | 12 | 6 | 15 | 51 | 60 | 68 | 130 | 959 |
| キアバヤ | 220 | 176 | 146 | 64 | 33 | 28 | 20 | 34 | 53 | 62 | 75 | 135 | 1045 |
| チャラサニ | 57 | 54 | 46 | 31 | 13 | 13 | 12 | 13 | 32 | 35 | 35 | 34 | 375 |

単位；mm

調査地域の植生は大部分は二次植生であるが、一部には人跡未踏の山岳ジャングルが覆い茂る。二次植生は、山稜部で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。山麓部では耕作地を除くと、裸子植物の低灌木が主体となる。

第5章 結論及び将来への提言

5-1 結論

本調査対象地域には、オルドビス紀から第四紀までの堆積岩が北西-南東方向に伸張し、北東部にオルドビス紀の泥質岩を主体とする堆積岩類、南西部に向かい若い時代の堆積岩類が分布する配列を成し、これらを買いて貫入岩類が分布している。

鉱床生成区分では、錫鉱床帯、東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置し、東部アンデス山系の東斜面以東は砂金鉱床帯となっている。

この砂金鉱床の源は、従来西部に分布する多金属鉱床帯に由来されるとされていたが、1980年代になると、ヤニ地区の金鉱床の胚胎形式が明らかになるにつれて、ヤニ地区の金鉱化帯がその源の一つであると指摘された。しかし、それ以降も調査地域では、組織的・系統的な調査や解析が実施されておらず、広大な地域に同種の鉱床が期待された。

第1年次のASTER衛星画像解析は、既存の地形図、地質図および既知鉱床位置の精度の問題から、十分な照合ができなかったが、鉱化変質作用の指標として有望と見られるものは、カオリナイト-明礬石と褐鉄鉱の重複する分布領域と判定された。

既存資料解析からは、ヤニ地区のマント型金鉱床が対象地区の重要な鉱床として抽出され、低変成度オルドビス系の分布域と低変成度黒色頁岩中の褐鉄鉱賦存域の抽出が重要と指摘された。

さらに、引き続いて実施された広域沢砂地化学探査の結果では、金属成分の挙動・組合せから錫-タングステン鉱化作用、多金属鉱化作用、金鉱化作用が抽出されたが、規模および金属市場価格等から考慮すると、金鉱化作用が直接的な探査ターゲットとして選定された。さらに、金鉱化作用の低温系の特徴と金元素の挙動から、ヤニ型金鉱化作用（マント型）が主要な金鉱化作用であるとの結論を得た。

これらの結論を受けて、第2年次からは、抽出された5地区でさらに詳細な地質調査および沢砂地化学探査が実施され、加えて、低変成度の堆積岩分布領域を確認するために石墨化度調査が新たに導入された。

第3年次は、さらに絞り込まれた2地区と、SERGEOMIN(現 SERGEOTECMIN)実施の補足調査を参考にして抽出された、ペルーとの国境に近い2地区で地質調査および地化学探査が実施された。

調査結果

目標だった新鉱床の発見には至らなく、マント型金鉱床についても依然不明な点が多く残されたが、以下のことが明らかとなった。

地質

- 1) アウカパタ地区で貝化石が発見され、シルル紀-デボン紀と同定されたことから、シルル系-デボン系分布域が北東に広がった。

- 2) チャラサニ西地区に赤色砂岩層が、調査地域南西端に赤色の火山性堆積物が確認されたが、時代は決定できなかった。後者は地質層序対比のための鍵層の役割を果たす可能性がある。

火成作用

本調査で 15 試料の放射年代測定 (K-Ar 法) が実施され、新たに判明したことは以下の通り。

- 1) イリャンプ花崗閃緑岩体と同時期の貫入であると推定されていたウワト花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代は 93.4 ± 2.6 Ma であり、上部白亜紀初頭の年代を示した。
- 2) 新第三系の貫入岩であると推定されていたチャラサニ複合半深成岩体は、東側の貫入岩が 97.7 ± 2.5 Ma および 94.9 ± 2.6 Ma、西側の貫入岩が 47.1 ± 1.0 Ma、火山岩が 56.8 ± 1.5 Ma の値を示した。白亜紀ガリック世に東側から始まった火成活動が、古第三紀始新世頃は西側に移動したことを暗示している。
- 3) タカコマ地区の安山岩質貫入岩およびシート状岩脈は、 175.5 ± 4.9 Ma ~ 83.8 ± 2.3 Ma を示した。変質の程度から、安山岩類の活動は少なくとも 175 Ma 以前の生成年代と言える。この年代はイリャンプ花崗閃緑岩類等の活動年代に相当する。

変成作用

- 1) 地域一帯の変成相は緑色片岩相の緑泥石帯にあたり、黒雲母アイソグラッドにも達していない。本調査では珪線石、堇青石、紅柱石のいずれも確認されていない。
- 2) 石墨化度による温度分布の方向はイリャンプ花崗岩体やソンゴ-ヤニ花崗岩体から伸びるアンデス方向を示している。イロ・イロ地区及びペレチュコ地区でもアンデスの方向を示すが、南部地域に比べ高温域がはるかに広い。

鉱化作用

- 1) 調査地域内の確認された鉱化作用は、マント型金鉱床、(金) - 銅石英脈の鉱脈型鉱床、多金属鉱脈型鉱床及び氷河成 (融氷流水 ~ 河川堆積成) 砂金鉱床である。
- 2) マント型金鉱床は、地質構造が明瞭に確認された箇所では背斜軸部に胚胎しており、背斜構造が重要である。
- 3) マント型金鉱床は、石墨化度で 15 ~ 30 (約 400°C 以下) の範囲の堆積岩中に胚胎することが確認された。
- 4) マント型金鉱床は、従来オールドビス系に胚胎されるとされていたが、シルル系 - デボン系堆積岩中にも胚胎していることが判明した。
- 5) マント型金鉱床は、一部の金 - 銅石英脈の鉱脈型鉱床とともに成因的に造山活動時に広域変成・変形と同時に生成されたオロジェニック金鉱床と同種の鉱床である可能性が高い (ボリビア型オロジェニック金鉱床と仮称する)。

- 6) アカマニ鉱徴地やウワト花崗閃緑岩周辺の多金属鉱化作用は、白亜紀中期のガリック世の時期と考えられる。
- 7) 南部地域の(金)－銅石英脈の生成時期は、多金属鉱化作用とほぼ同じ時期の白亜紀後期のガリック世～セノニアン世と考えられる

主要5地区における鉱床賦存の可能性からみた結論は以下の通り。

ペレチュコ地区

本地区で期待されるのはマント型金鉱床で、ラヨ・ロホ鉱山から南東に延びる背斜軸の周辺がポテンシャルの高い箇所と言える。

調査範囲内の北東半分には顕著な背斜構造が認められないことから、マント型金鉱床胚胎の可能性は低い。

イロ・イロ地区

本地区で期待されるのはマント型金鉱床で、背斜構造としてはビルヘン・デル・ロサリオ鉱床胚胎背斜軸とラス・ミナス鉱床胚胎軸が存在する。しかし、この軸部の延長にはすでに鉱床が存在していることから、コッペ部落北東にある背斜軸部に期待が持てる。

チャラサニ西地区

チャラサニ半深成岩類と二疊系石灰岩との境界部には期待されたスカルン型鉱床は存在しない。沢砂中の金異常は、チャラサニ半深成岩類の上部に存在したと思われる金鉱床が、氷河により削剥され、融氷流水堆積物として堆積したものが、さらに河川の浸食で移動し、沈殿したものと考えられ、初成金は存在しない。融氷流水堆積物中の二次金は残存している可能性を残している。

アウカパタ地区

本地区のマント型鉱床は、ソンゴ・ヤニ花崗岩の関与に関わりなく、流体包有物の測定結果と土壤地化探の結果から、存在してもパカヒ北斜面まで、さらに北西への連続性は見込めない。

ワンコ区域の金－銅鉱化作用は局部的で、連続性に問題があり、大鉱床に発展する可能性は低い。

タカコマ地区

本地区のマント型鉱床は、ソンゴ・ヤニ花崗岩が関与しているなら、流体包有物の測定結果から、サン・ホルへ鉱床よりさらに北西への連続性は見込めない。

チャジャパタの金－銅鉱化作用も局部的で、連続性に問題があり、大鉱床に発展する可能性は低い。

5-2 将来への提言

今年度までの調査で、地質的データが蓄積され、地質的理解も深まったが、顕著な鉱化示徴は確認できなく、最終目的である新鉱床の発見には至らなかった。したがって、現時点では調査を継続する積極的な結果が得られていない。しかし、将来、ヤニ・ペレチュコ地域を含む東アンデスの金属鉱床を再評価する場合、以下の点に留意することを提言する。

マント型金鉱床は、オルドビス系だけでなくシルル系—デボン系中にも胚胎しており、造山運動に伴われて形成された鉱床（ボリビア型オロジェニック金鉱床）と考えられるが、不明な点が多く今後の十分な調査が望まれる。

もしマント型金鉱床がこの種の鉱化作用の場合、鉱床賦存のポテンシャルは古生代堆積岩類の分布する東部アンデス山脈の北東斜面にも広がる。

典型的なオロジェニック金鉱床の場合には、鉱液をもたらしたとされる大規模剪断断層帯が存在し鉱床は大規模となるが、ヤニ・ペレチュコ地域では剪断断層帯が確認されてなく、ほとんど背斜構造に伴われ小規模である。

しかし、鉱床賦存の可能性が拡大した北東地域中には、依然剪断断層帯の存在も考えられ、剪断帯に胚胎している鉱床も期待される。成因は良く分かっていないが剪断帯に胚胎しているリピチ鉱床類似の鉱床が存在するならば、鉱量約2.5百万トン、金量約10トンが期待されるだろう。

したがって、広範囲なエリアからの探査対象の絞り込みには、画像解析による広域的な地質構造の抽出が必要である。引き続き広域的な沢砂地化学探査と熱的分布状況把握のための石墨化度の測定を実施することが有望地区の絞り込みに有効である。併せて、マッピングにより広域的な地質構造、特に背斜構造を確認することが重要である。

露頭が少ない地区や植生に覆われている地区では、土壤地化探も併用することが望ましい。

地質調査にあたっては以下の点に留意して実施することを提言する。

- ① 画像解析によるリニアメントの解析で構造線の推定を行うこと
- ② 発達した劈開に惑わされることなく、真の走向傾斜を把握し地質構造を確認すること
- ③ 大規模背斜軸や大規模剪断断層帯を走向方向に追跡すること
- ④ 噴気堆積鉱床胚胎の可能性もあり、硫化物や酸化帯を確認し化学分析を実施すること
- ⑤ 火成岩の有無（転石も含め）にも注意を払うこと
- ⑥ 断層の把握と転移を確認すること

さらに室内研究にあたっては

- ① 地化学異常の検討
- ② 鉱化の種類(オロジェニック金鉱床 かどうか)の検討(石墨化度、変成相の分帯, 流体包有物の均質化温度、鉱物共生 etc)

を十分に行うことが望ましい。

上記調査で絞りこまれたポテンシャルの高い地区については段階的にさらに詳細な地質調査を実施することが望ましい。

なお、本地域一帯では金－銅石英脈型鉱床を含む多金属鉱床は規模的に小さく、連続性に乏しいため経済的でないとは判断する。また、火成岩類に胚胎箇所が規制されることから 有望地区も限定される

第Ⅱ部 各論

第1章 衛星画像解析

1-1 解析の目的

ASTER 画像データから作成したフォールスカラー画像、比演算処理画像、3D 図を用い、ゴッサン及び変質帯抽出を行い、調査地域における鉱床賦存有望地区抽出のための基礎資料を提供することを目的とした。

1-1-1 使用データ

衛星画像解析に使用した ASTER データ 14 シーンの解析範囲とフォールスカラー画像を第6図に示す。

1-1-2 データ処理

金属鉱業事業団から以下の解析結果の提供を受けた。

- A. 各バンドのモザイク処理画像
- B. 各シーンのカラー合成画像と地形コンターの合成画像
- C. 各シーンの DEM データ
- D. 各シーンの鉱物指数画像（酸化鉄、石英）
- E. 各シーンの鉱物分布画像（SAM：Spectral Angular Matching 法）
（褐鉄鉱、明礬石、モンモリロナイト、カオリナイト、絹雲母、緑泥石、緑簾石）

上記のうち、B～E はモザイク処理がされていなかったため、各処理結果について 14 シーンのモザイク処理を実施した。

作成した各モザイクデータから調査範囲の画像データを切り出し地質解釈に用いた。また、DEM データから地上開度を画像化した。縮尺 50 万分の 1 のカラー合成モザイク画像および地上開度図からリニアメントを判読し、さらに、リニアメント密度図を作成した。

1-2 画像判読・解析

調査対象範囲(18,400km²)と地化学探査調査範囲(2,500km²)とに分けて解析を行った。

1-2-1 調査対象範囲

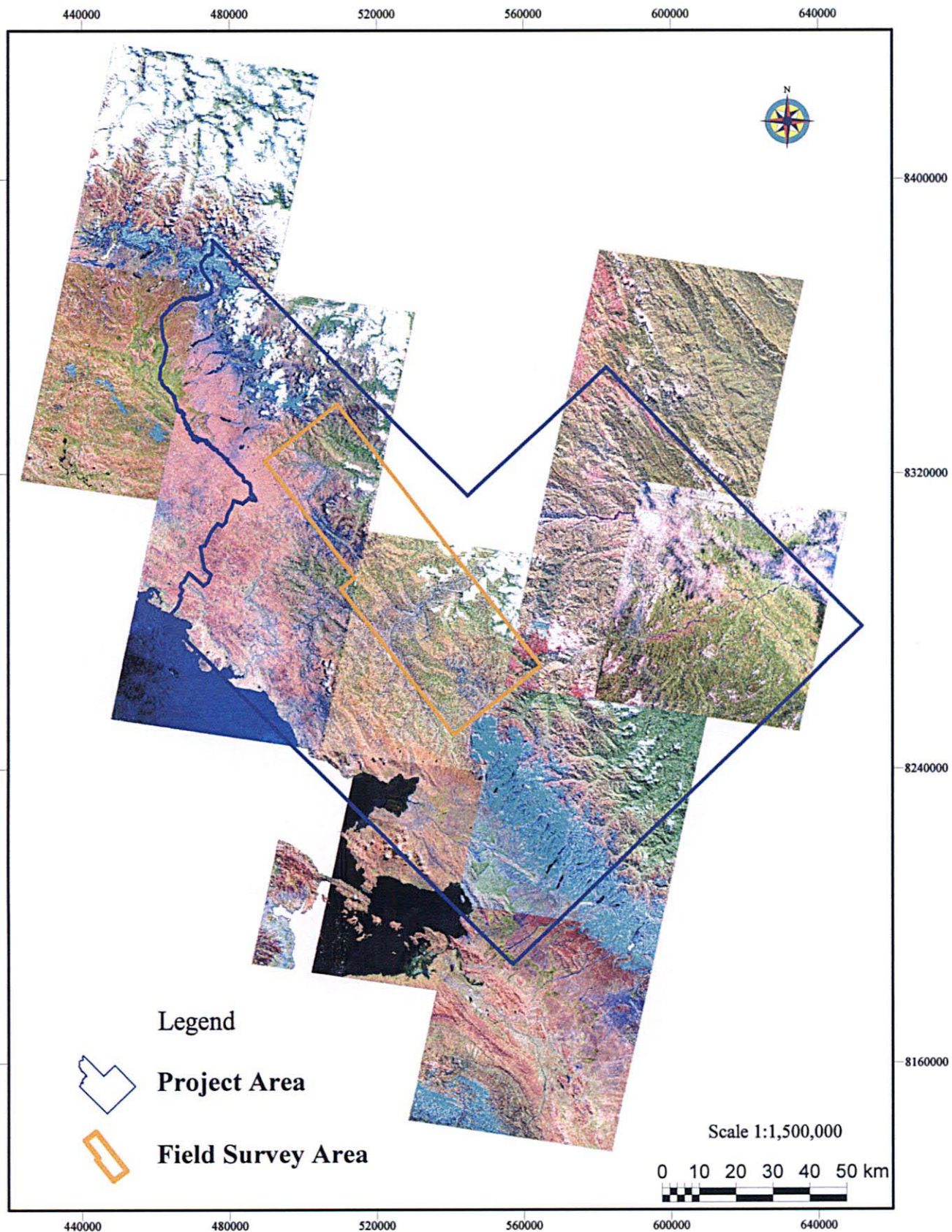
1) リニアメント

調査対象地域内で抽出されるリニアメントをリニアメント解析図として第7図に、抽出されたリニアメントの総延長から計算される密度分布を第8図に示す。

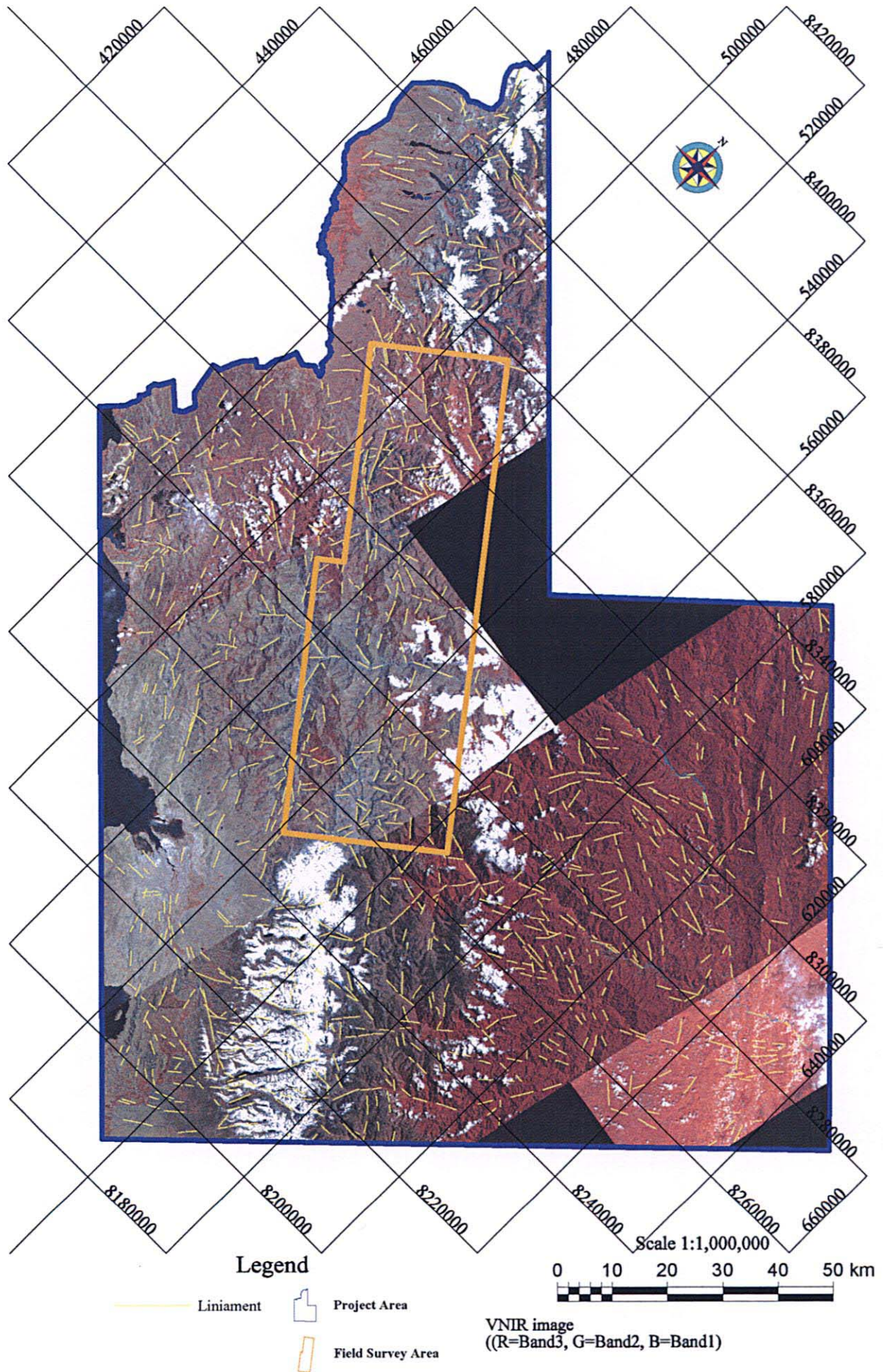
リニアメントの高密度分布の傾向は、NW-SE 系に卓越し、次いで E-W、NE-SW および N-S 系が認められる。

NW-SE 系は調査対象地域中央部を連続性良く縦走するものと、その南西部に併走するものが存在する。前者はコルディレラ・リアル(Cordillera Real)断層の分布域を示唆するが、既往地質図の記載位置とは対象地域中央部で一致しない。また南西部のものは既往地質図のデボン系中に記載される断層にほぼ重複して抽出された。

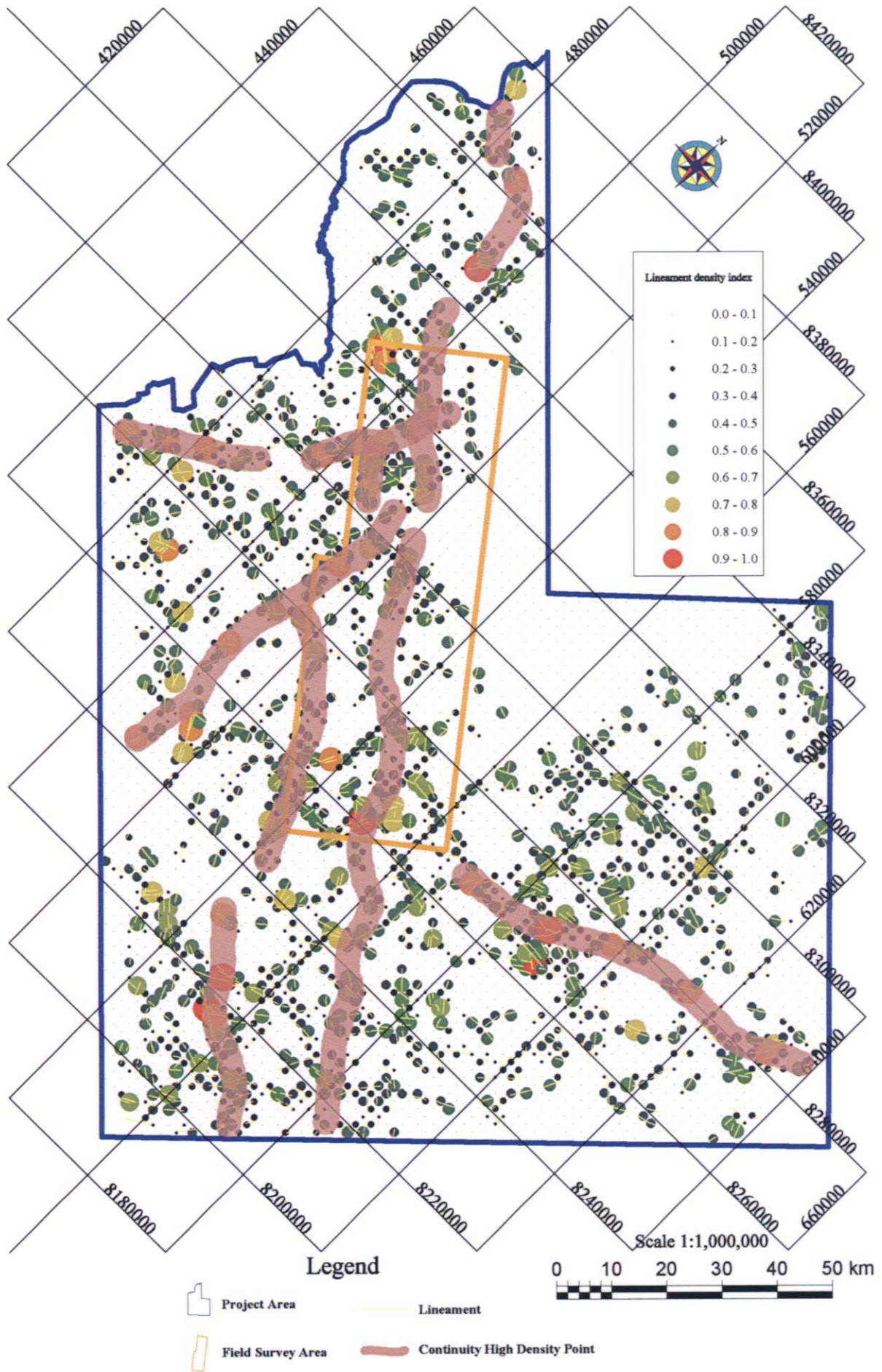
E-W 系は調査対象地域東部のティプアニ(Tipuni)川沿いに抽出されるが、本区域に分布するオルドビス系には本方向の断層は記載されていない。



第 6 図 フォルスカラー画像
 Fig.6 Imágenes de color falso de ASTER



第 7 図 リニアメント解析図
Fig.7 Mapa de lineamientos interpretados(Área del Proyecto)



第 8 図 リニアメント密度分布図
 Fig.8 Densidad de lineamientos interpretados

NE-SW 系は調査対象地域南西側の北縁部に分布する。一部は既往地質図に記載される断層に重複し、一部はスッチェス(Suches)川沿いに分布する。

N-S 系は調査対象地域中央部の南西側に認められ、一部は既往地質図に記載される断層に重複する。

これらのリニアメントの分布と既知鉱徴との関係は明瞭とは言い難いが、中央部を縦走する NW-SE 系のリニアメント高密度分布域に、既知鉱徴が配列する傾向が弱いながらも認めることができる。

2) 抽出鉱物分布の特徴

酸化鉄指数、石英指数、褐鉄鉱、明礬石、モンモリロナイト、カオリナイト、絹雲母、緑泥石、緑簾石の分布を第9図に示す。

抽出鉱物の分布パターンを概観すれば、次の4グループに分類できる。

- ①石英指数-絹雲母-モンモリロナイト-緑泥石
- ②カオリナイト-明礬石
- ③酸化鉄指数
- ④褐鉄鉱-緑簾石

グループ①は湖岸沿いあるいは河川沿いの沖積層、崩積層、崖錐等の分布にはほぼ一致するものであり、全体としては連続性良く抽出され、調査対象範囲全域に分布する。

グループ②は特定区域に抽出鉱物分布が集中するが、地質構造との関係は不明瞭である。

グループ③はただ1個の例でありその特徴を一般化することは出来ないが、①と②の性格を兼ね備えたものと見なされる。即ち、大局的には断続する河川沿いの分布に加え、特定区域に分布が集中するパターンであると解される。

グループ④は調査対象範囲全域に散点状に分布し、広域的分布の特徴が掴めないものである。

1-2-2 地化学探査地域

1) リニアメント

地化学探査地域内で抽出されるリニアメントおよびリニアメントのローズダイアグラムから読み取れるリニアメントの方向性は、NW-SE 系に卓越し NNE-SSW 系、E-W 系がこれに次ぐ(第7図)。

地質図と対比すれば、調査地域中央部を縦走するコルディレラ・レアル断層に重複するリニアメントは少なく、その両側に若干連続するリニアメントが抽出されるにすぎない。

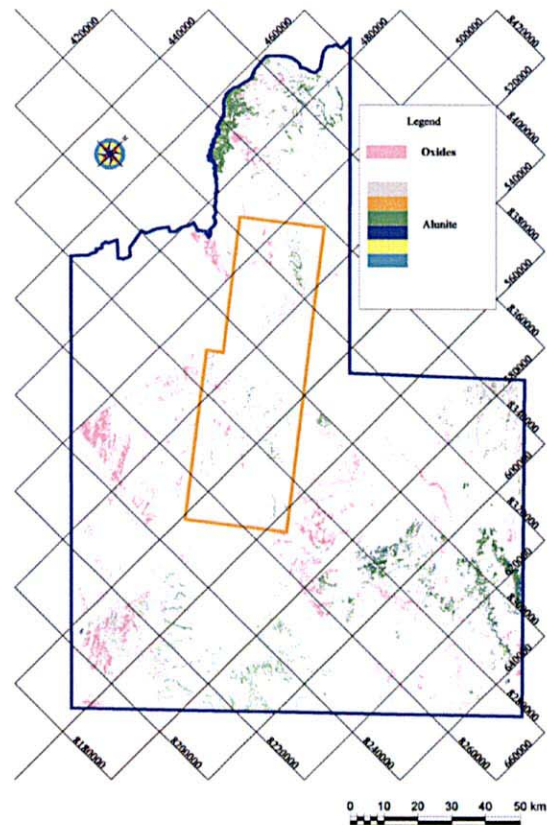
調査地域南西縁に推定された古生界と中生界を境する断層は、前節にて記載したデボン系に分布する NW-SE 系のリニアメント高密度分布域に重複する。その一部のリニアメントがソラタの北西および南東部に抽出される。

NE-SW 系および N-S 系のリニアメント高密度分布域として抽出された区域にはそれぞれ推定断層が記載され、コルディレラ・レアル断層?を転移させている。

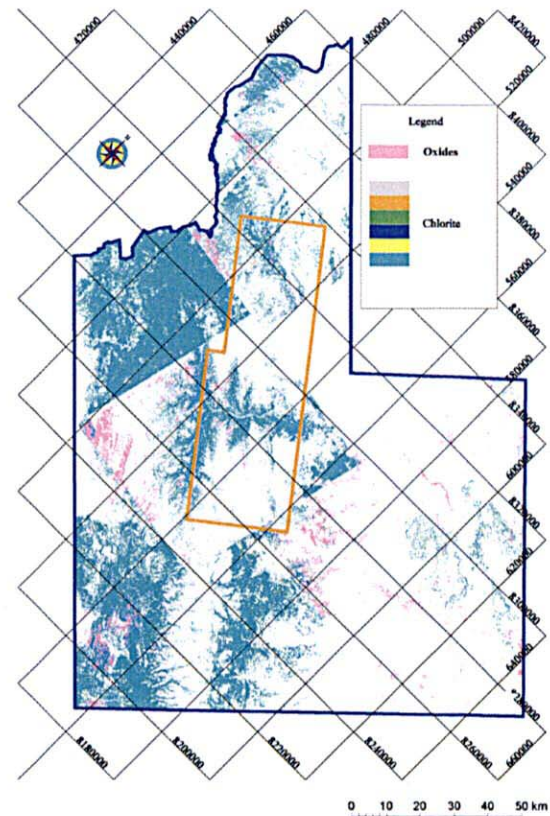
これらのリニアメントと既知鉱徴分布との間には明瞭な関係は認められず、本地域における鉱脈型の鉱化作用は小規模な裂罅系に依存するものであろうと推定される。

2) 抽出鉱物分布の特徴

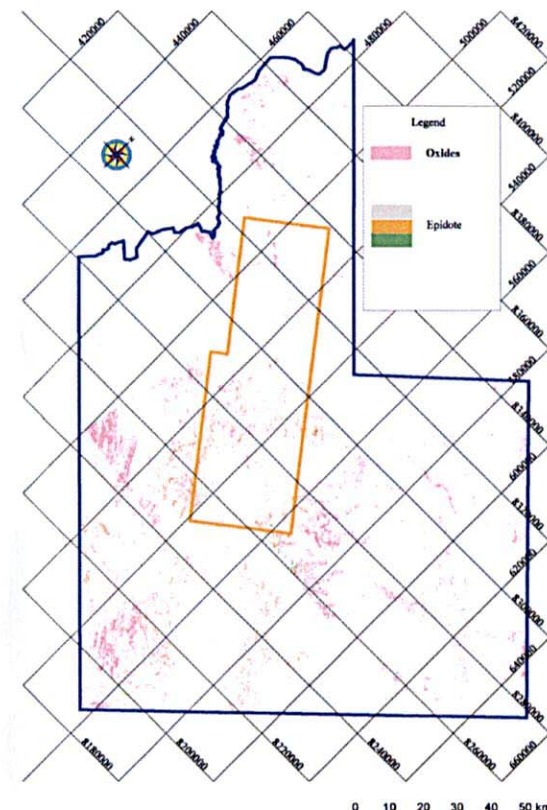
抽出鉱物の分布パターン(第9図)を概観すれば、次の3グループに分類し得る。



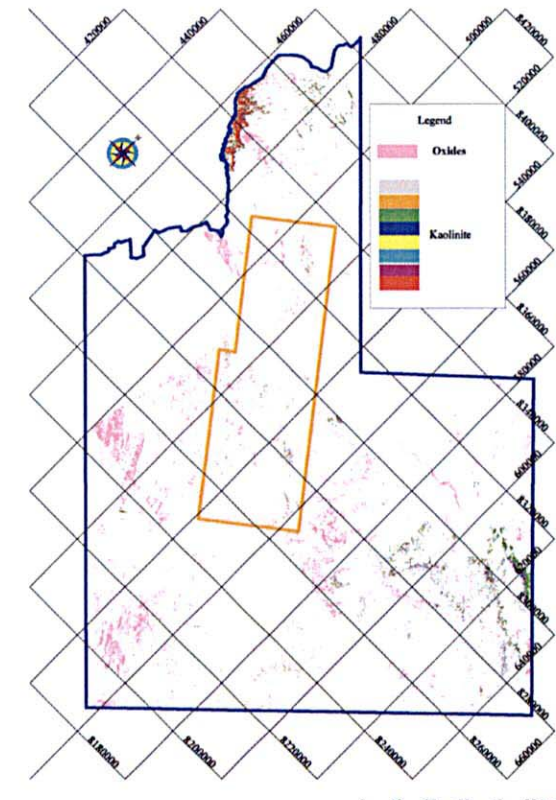
Iron Oxide Index with Alunite Index



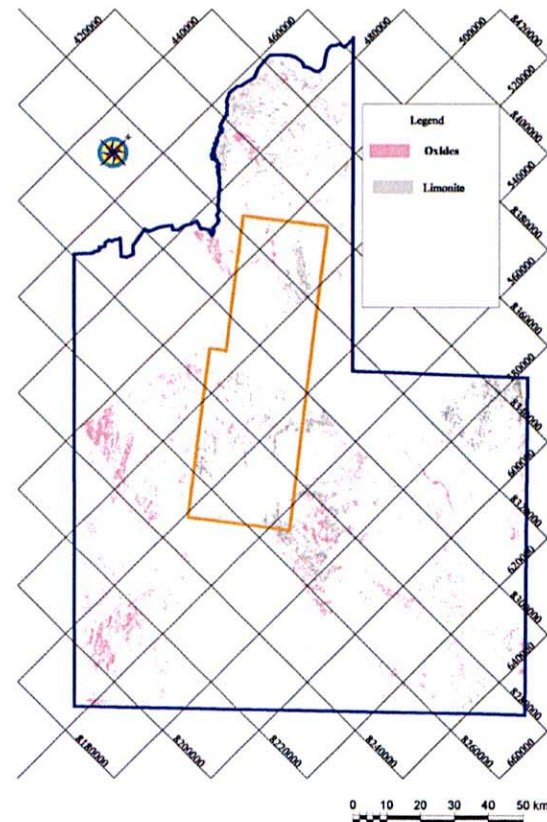
Iron Oxide Index with Chlorite Index



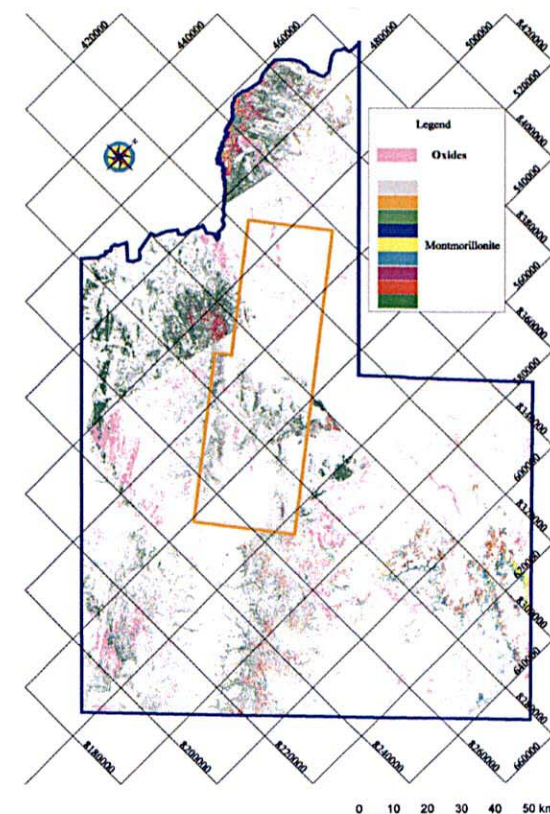
Iron Oxide Index with Epidote Index



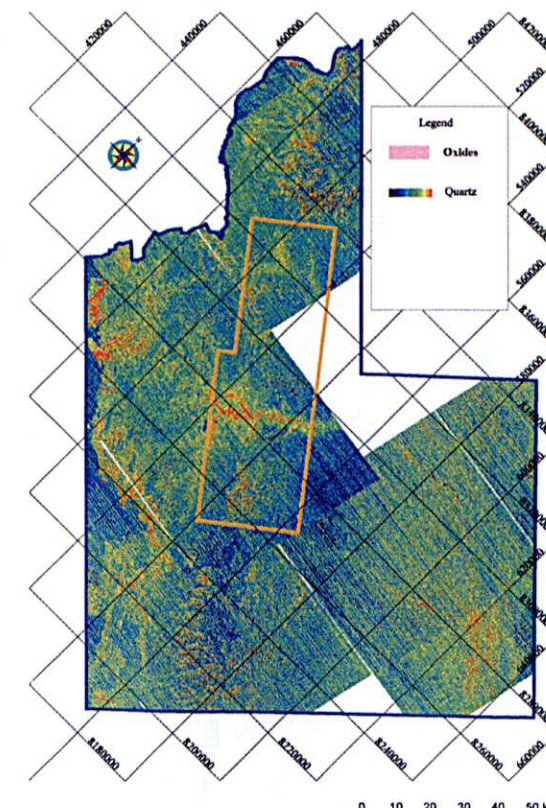
Iron Oxide Index with Kaolinite Index



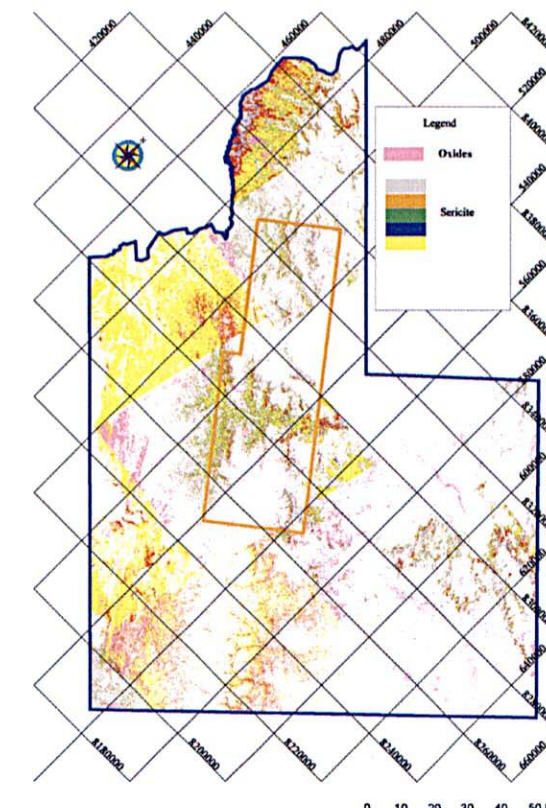
Iron Oxide Index with Limonite Index



Iron Oxide Index with Montmorillonite Index



Iron Oxide Index with Quartz Index



Iron Oxide Index with Sericite Index

第 9 図 鉱物分布図 (調査対象地域)

Fig.9 Mapa de distribución de minerales interpretados(Área del Proyecto)

①石英指数-緑泥石-絹雲母-モンモリロナイト-緑簾石

②カオリナイト-明礬石-褐鉄鉱

③酸化鉄指数

グループ①は河川沿いの沖積層、崩積層、崖錐等の分布にほぼ一致するものであり、全体としては連続性良く抽出されている。しかし、地質母岩との関係、既知鉱物との関係は不明瞭である。

グループ②は特定区域に抽出鉱物分布が集中することから、鉱化示徴を示唆する可能性を秘めている。

グループ③はただ1個の例でありその特徴を一般化することは出来ないが、①と②の性格を兼ね備えたものと見なされる。即ち、大局的には断続する河川沿いの分布に加え、特定区域に分布が集中するパターンであると解される。

1-3 考察

広域的な抽出鉱物の分布パターンと局所的な抽出鉱物の分布パターンとは、基本的にほぼ一致すると見なすことができる。

広域分布パターンのグループ①～③は局所分布パターンのグループ①～③に、抽出鉱物の組み合わせは異なるが、その分布の特徴は一致する。

これらの分布パターンの内、鉱化変質作用の示徴として使用可能と考えられるのは、既存資料解析において‘調査が必要’と判断される区域抽出のための条件として結論された褐鉄鉱ヤケ賦存域の抽出になぞらえると、グループ③の酸化鉄指標がまず挙げられる。

次いで広域分布パターンでは不明瞭であったが、局所分布パターンで褐鉄鉱を含むグループ②が注目される。

この二つのグループの重複部が今後の要調査区域として抽出されるべきであると考えられるが、酸化鉄指標とグループ②とは殆ど重複しない。従って、グループ②と褐鉄鉱との重複部を要調査区域とする。

なお、後述するヤニ型金鉱床の再配列に関与したとされる熱変成作用による変成鉱物の累帯配列が存在するとすれば、珪線石および薑青石には ASTER の 6 バンドに吸収帯があり、変成相の抽出・分帯の可能性が存在しており、今後の検討課題となる。

第2章 既存データ解析

2-1 目的

既存資料を収集、整理、解析することにより、調査対象地域内の鉱床及び鉱徴地の概要及び賦存状況を把握することを目的とする。

2-2 地質概要

地質層序を概観すれば、古生代オルドビス紀から第四紀までの堆積岩類および火山岩類が、北西-南東方向に伸張して分布する。これらを一貫して、上部デボン紀～下部石炭紀、上部三畳紀～下部ジュラ紀および新第三紀初頭の貫入岩類が分布する。地域北東部に古生界が分布し、南西部に向かい次第に若い時代の堆積岩類および火山岩類が分布する（第5図、第10図、第11図）。

2-2-1 古生界

1) オルドビス系

オルドビス系は調査対象地域の北東部に広く分布する。泥質堆積岩類よりなり、一部は弱い広域変成作用を受ける。これらは黒色頁岩を主体とし、千枚岩、珪岩、シルト岩、砂岩等からなる。

2) シルル系

東部アンデス山脈の北部域では、基底は浸食作用により欠如し、不整合でオルドビス系を覆う。

調査対象地域においては、基底はダイアミクタイトよりなり、成層した珪岩、千枚岩、頁岩が壘重し、頂部は砂岩-シルト岩の互層となる。

3) デボン系

調査地においては頁岩、砂岩およびシルト岩よりなる。これに対応する層準は明確ではない。

4) 石炭系

調査地域の東部アンデス山系ではダイアミクタイトの薄層を挟む砂岩・シルト岩の互層からなり、サブアンデスではダイアミクタイト、シルト岩、砂岩、砂質礫岩、最上部に砂岩および礫岩を挟むダイアミクタイトよりなる。岩相から下部石炭系に相当すると解される。

5) 二畳系

調査地域の東部アンデス山系では石灰質な頁岩および砂岩と互層する化石に富む石灰岩からなり、サブアンデスでは泥灰岩、頁岩、砂岩を挟む化石に富む珪化石灰岩よりなる。

岩相からコパカバーナ累層に相当すると解される。

2-2-2 中生界

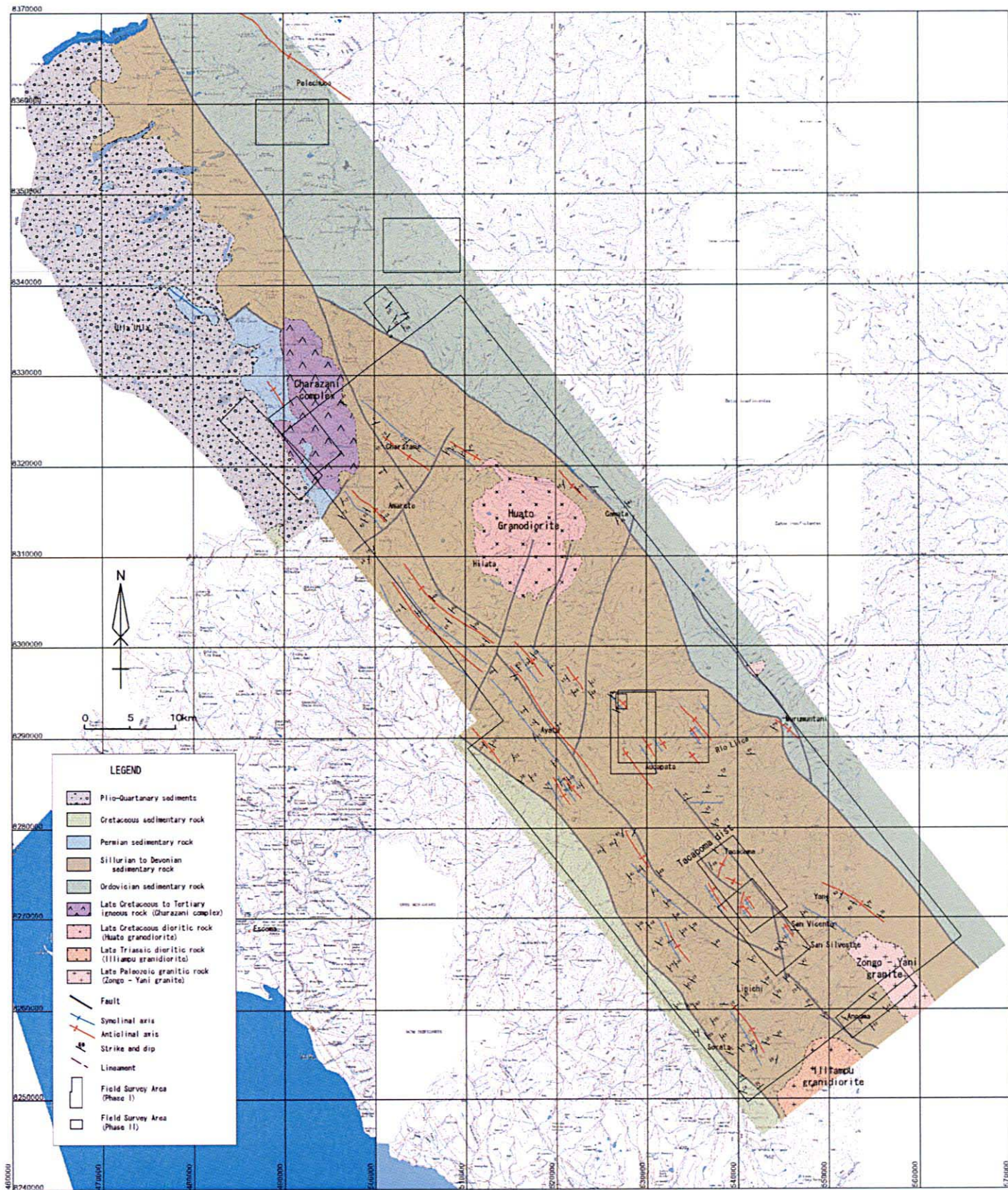
1) 白亜系

調査地域の東部アンデス山系では礫岩、砂岩、泥岩、石灰岩および泥灰岩からなる。サブア

| System | Series | Stratigraphic Unit | | Igneous Activity | | | |
|---------------|-------------|--------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| | | Formations | Lithology | | | | |
| CENOZOIC | Quaternary | Holocene | | Hydrothermal activity in Zongo-Yani area 35.3±1.0 K/Ar (biotite) Charazani hypabyssal complex 47.1±1.0 K/Ar(whole rock) 56.8±1.5K/Ar (whole rock) | | | |
| | | Pleistocene | | | | | |
| | Tertiary | Neogene | Pliocene | | | | |
| | | | Miocene | | | | |
| | | Paleogene | Oligocene | | | | |
| | | | Eocene | | | | |
| | | | Paleocene | | | | |
| MESOZOIC | Cretaceous | Upper | Ocoyoa F. | siliceous shale with quartzite | | | |
| | | | Huarachani F. | shale with limestone and calcareous sandstone | | | |
| | | | Ancoraimes F. | sandstone with gypsum | | | |
| | | Lower | Matilde F. | limestone and dolomite | | | |
| | | | Carabuco F. | psamitic rocks | | | |
| | | | Pacobamba F. | conglomerate, sandstone, mudstone | | | |
| | | | Puerto Acosta F. | shale and sandstone | | | |
| | Jurassic | Upper | [Hatched area] | alternation of feldspathic sandstone, calcareous shale and dolomite | | | |
| | | Middle | | | | | |
| | | Lower | | | | | |
| | Triassic | Upper | | | | | |
| | | Middle | | | | | |
| | | Lower | | | | | |
| | PALEOZOIC | Permian | | | Upper | Chutani F. | alternation of feldspathic sandstone, calcareous shale and dolomite |
| Lower | | | | | Copacabana F. | limestone with siliceous nodule and dolomite | |
| Carboniferous | | Upper | | | Yaurichambi F. | sandstone with chert, dolomite, conglomerate, shale | |
| | | Lower | | | Ambo G. | Siripaca F. | sandstone with limestone and abundant plant fragments |
| | | | | | | Kasa F. | sandstone and shale with small scaled diamict |
| Cumaná F. | | | | | | diamict, sandstone and conglomerate | |
| Devonian | | Upper | | | Collpacucho F. | sandstone and shale and siltstone with sandstone | |
| | | Middle | | | Sicasica F. | shallow marine to delta sediments | |
| | | Lower | Belén F. | deep to shallow marine sediments | | | |
| | | | Vila Vila F. | sandstone with cross bedding | | | |
| Silurian | | Pridolian | Catavi F. | sandstone | | | |
| | | Ludlovian | Uncía F. | shallow marine pelitic sediments | | | |
| | | Wenlockian | Llallagua F. | pale gray to brown quartzite, sandstone, siltstone and greenish gray shale | | | |
| | | Llandoveryan | Cancañiri F. | diamict | | | |
| Ordovician | Ashgillian | Amarete F. | alternation of sandstone and quartzite | | | | |
| | Caradocian | | | | | | |
| | Llandeilan | Coroico F. | black mudstone and shale fine grained sandstone | | | | |
| | Llanvirnian | | | | | | |
| | Arenigian | | | | | | |
| | Tremadocian | | | | | | |

第10图 地質模式層序圖

Fig. 10 Perfil de columna estratigráfica



第11図 調査地域地質図
Fig. 11 Mapa geologico local

ンデスでは、基底は赤色砂岩、団塊を含む礫質砂岩よりなり、頂部は泥灰岩や泥岩を挟む石灰岩よりなる。これらはパコバンバ累層～マチルデ累層までの層準に対比できるが、サブアンデスの赤色砂岩については該当する記載が見当たらない。

2-2-3 新生界

1) 第三系

東部アンデス山脈の北部地域では、第三系はサブアンデスの構造堆積盆を満たす礫岩層よりなり、小規模な砂岩層および頁岩層を挟在する。

CIASER(1985)で第三紀溶岩として記載されるチャラサニの北部に分布する火山岩類はチャラサニ複合岩体として貫入岩類の項で記載する。

2) 第四系

氷河堆積物、湖沼堆積物、段丘堆積物、地滑り崩落堆積物等が存在する。調査地域においては、急峻な地形と軟弱な地盤とが相俟って、地質図上に記載されない小規模な地滑り崩落堆積物が、至る所で観察される。

3) 現世堆積物

現世堆積物は谷、盆地、平原を小規模に満たす沖積層、崖錐が分布する。

2-2-4 貫入岩類

調査地域にはバソリスを形成する上部古生界および下部中生界の貫入岩類と新第三紀初頭の貫入岩類とが分布する。

(1) 上部古生界貫入岩

上部デボン紀から下部石炭紀にかけてのヘルシニアン変動期に貫入した貫入岩類で、ソンゴヤニ(Zongo-Yani)花崗岩類と呼称され、調査地域南東部に花崗岩底盤の北西端が分布する。

角閃石を主体とする有色鉱物の弱い葉理構造を有する。更に、割目系を中心に金雲母が生成しており、後期の熱水～気成変質作用を蒙った形跡が強く残存する。

K/Ar年代は40～157Ma(上部ジュラ紀～始新世)が得られているが、地質現象とは一致せず、後の熱変成作用による若返り年代を与えているものと考えられている。この火成活動期はチリグアナ期(Chiriguana Phase)と呼称される。

本貫入岩体周辺の母岩には、熱変成作用による変成鉱物の類帯構造が認められ、岩体を取り巻く中心部に珪線石帯、次いで堇青石帯、紅柱石帯および緑泥石属帯と外側に向け分布しているとされている(Arturo, W. 1989)。これらの熱変成作用が既存の金鉱化作用の再濃集を促し、低変成帯にマント型金鉱床を再編したとされる(Tistl, M. 1990)。

(2) 下部中生界貫入岩類

上部三畳紀から下部ジュラ紀にかけてのヘルシニアン変動期の後に貫入した貫入岩類で、東部アンデス山系の中軸部に貫入するNW-SEの伸張方向を有する底盤を形成する。

調査地域においては、ソンゴヤニ花崗岩類の西側に位置するイリャンプ花崗閃緑岩体および北西延長に分布するウワト(Huato)(アマレッテ)花崗閃緑岩体が分布する。

これらの岩体は比較的新鮮であり、その周辺に対する変質作用は極微弱であるが、本調査地

域の錫-タングステン鉱化作用に関与したと考えられている。K/Ar年代は219~204Maが得られており、上部三畳紀に対応する。この火成活動期はコーヤ期(Kolla Phase)と呼称されている。

(3) 新第三紀貫入岩類

新第三紀初頭のアンデス造山期に貫入した花崗閃緑岩質半深成岩類で岩株を形成し、チャラサニ複合岩体と呼称される。

調査地域においては、その北端に岩株の南半分が分布する。岩質は流紋岩質、デイサイト質、花崗閃緑斑岩質、花崗閃緑岩質と変化に富む。

本岩体の絶対年代の測定はなされていないが、調査地域南方の類似岩体でのK/Ar年代は28~19Ma(漸新世~下部中新世)が得られている。これらの岩体は本調査地域の錫-タングステン鉱化作用に関与したと考えられている。

2-3 地質構造

本調査地域の地質構造は、いわゆるアンデストレンドに調和的なNW-SE方向が顕著に認められる。

褶曲構造は比較的穏やかであり、一部には引き摺り褶曲を伴うが、大局的には500~1000mの周期を持つ背斜-向斜を繰り返す複合背斜構造を成すものと考えられる。

背斜部では引き摺り褶曲に伴う高角度の逆断層が時に認められるが連続性に乏しい。

断層構造も圧縮応力場に対応する走向断層、特に黒色頁岩中の層内滑りが極めて普遍的に認められる。また展張応力場に対応する横断断層がNE-SWあるいはN-S方向を持ち走向断層に斜交する。

ジュラ紀前期には展張応力場でのグラーベン等の垂直構造運動が惹起された。

調査対象地域の中央部にはブラジル盾状地に属するグアポーレ剛塊とアンデス造山帯を包含するアレキパーワリーナ地塊とを境するNW-SEの伸張を有するコルディレラ・レアル断層帯が分布するとされるが、図幅によりその位置は異なり、断層帯の位置の確定には今後の詳細調査が必要となろう。

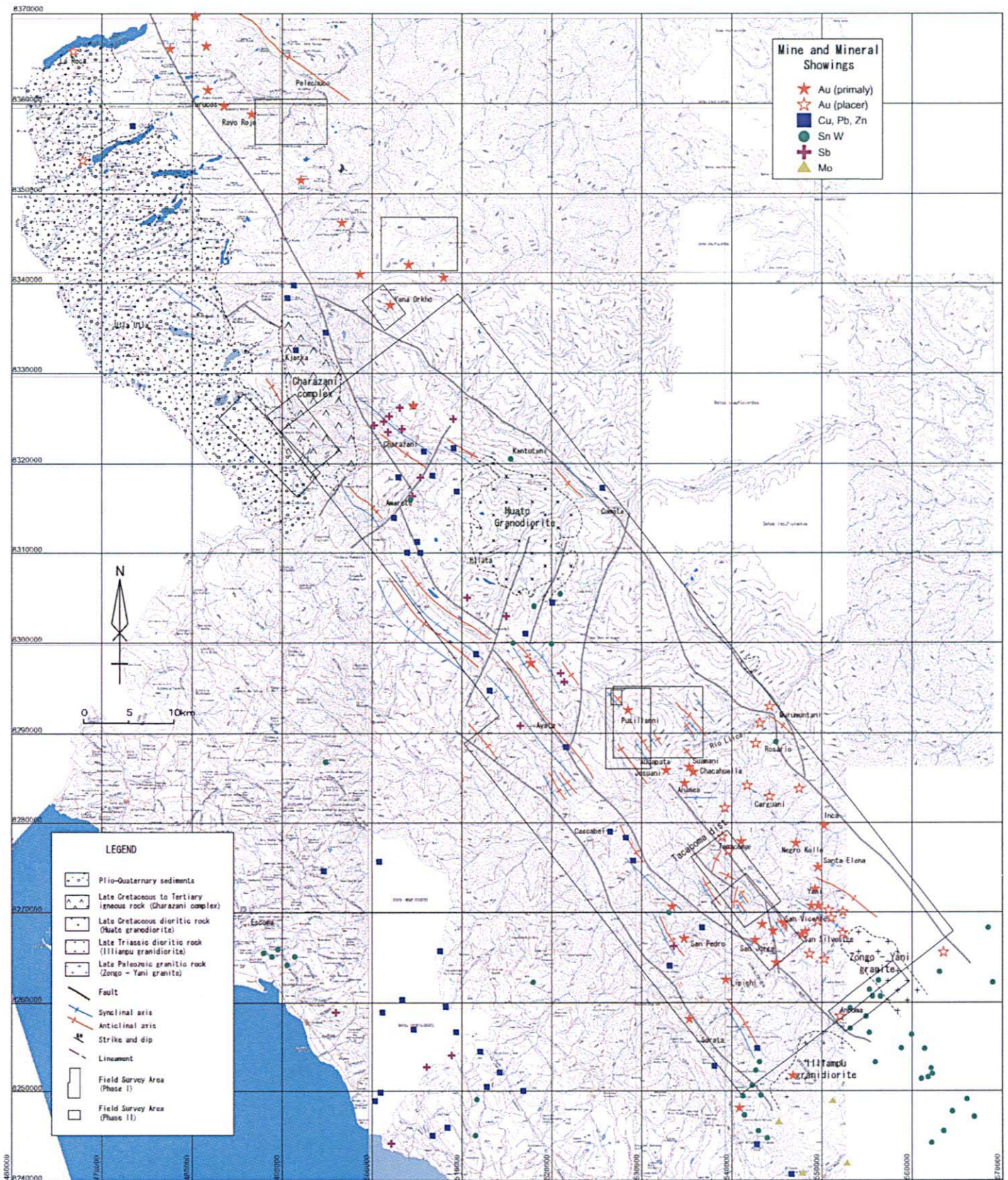
2-4 鉱床

ボリビアの鉱床生成区を概観すれば、西側から西部アンデス・アルティプラノ多金属鉱床帯、錫鉱床帯、東部アンデス縁辺多金属鉱床帯がアンデス山脈沿いに並行し、ベニアナ-チャコ平原では北部のアマゾン川沿いにアマゾン砂金堆積盆が知られるのみである。

ブラジル盾状地の一面を成すグアポーレ剛塊では西縁部にスンサス(Sunsas)多金属鉱床帯、その南にムツン-タカバカ(Mutun-Tacavaca)鉄-マグネシア鉱床帯、東縁に含金マンガン鉱床帯が分布する。

調査対象地域は、この区分に従えば、錫鉱床帯および東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置する。

調査対象地域内に記載される既知鉱床および鉱徴はCordillera Proyectoの鉱徴地分布図を参照すれば、201箇所が記載されている(第12図)。



第12図 既知鉱徴分布図

Fig. 12 Mapa de ubicacion de las ocurrencias mineralizadas

その鉱種は、錫-タングステン鉱徴、金鉱徴、銅・鉛・亜鉛鉱徴、アンチモン鉱徴、モリブデン鉱徴、ウラン鉱徴、バリウム-水銀鉱徴および鉱種不明である。

これらの鉱徴の分布は、調査対象地域中央以北に金および銅・鉛・亜鉛鉱徴が、南部に錫-タングステン鉱徴が位置する。アンチモン鉱徴の分布は銅・鉛・亜鉛鉱徴の分布に重なるものが主体をなす。

これらの鉱徴のうち、金鉱徴は調査地域を二分するジーカ(Llica)川の南部に主として分布する。特にヤニ周辺に密集する分布を成す。

当初花崗岩類の貫入に伴う熱水活動のハローとして捉えられていた金鉱化作用を、地層に調和的な鉱化形態を有するマント型鉱床として捉える考え方が1980年代になり提起された。

更に、その鉱化作用の根元を、母岩となったオルドビス系に包含される硫化物を含む火山堆積性層準に結びつけ、硫化物中の金がソングーヤニ花崗岩類の貫入に伴い再編成され、黒色頁岩中に選択的にマント型金鉱床が形成されたとした(例えば、Schneider, H. J. 1990)。

マント型金鉱床は選択的に本地域における低変成帯に重複して分布するとしている。

金の鉱化に関与する硫化物層準は、上部オルドビス系(Caradocian)のアムタラ累層中の変砂岩中に挟在する30~50mの層厚を有する黒色頁岩中に胚胎する。

鉱化層準には層状に鉱染した比較的多量の細粒黄鉄鉱が認められ、その硫化物を含むレンズの厚さは1~2mに達する。露頭部では酸化し褐鉄鉱化したヤケ帯(ゴッサン帯)を形成する。

マント型金鉱化作用は非常に不規則であり、その層厚は数cm~1mの範囲にあり、平均すると10~20cmである。

含金石英レンズの走向方向は一般に母岩の走向と調和的であるが、傾斜は変化に富む。

構成鉱物は石英が96 vol.%以上を占め最も多く、少量の黄鉄鉱、硫砒鉄鉱および緑泥石を伴う。時に、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁硫鉄鉱および曹長石を伴う。灰重石が早期晶出鉱物として認められることがあるが、錫石や鉄マン重石は認められない。金鉱物は自然金のみであり、葉状または片状に石英と共生するか、石英粒の縁辺部に晶出している。

錫鉱化作用については、従来東部アンデス中軸部に貫入した下部中生代の花崗閃緑岩質貫入岩に由来するとされているが、鉱脈型の鉱化作用のみならず、シルル系の珪岩中のマント型鉱化作用についても、首都ラパスの北東部に位置するケジュアニ(Kellhuani)鉱山において、随伴する白雲母のK/Ar年代で213±5 Ma (McBride, et al., 1983)が得られており、同時期の鉱化作用であることが確認された。

マント型錫鉱床は珪岩中に発達する網状石英細脈に伴われるとされており、砂岩・珪岩等の硬質岩の珪化変質帯に伴われる鉱化作用であると解することが出来る。

調査地域内のアマレッテに所在するサン・ホセ(San José)鉱山も同種の鉱化作用であると記載される(Lehmann, B., 1990)。

2-5 考察

調査地域には、オルドビス紀から第四紀までの堆積岩類が、北西-南東方向に伸張して分布する。これらを買いて、上部古生界および下部中生界の貫入岩類と新第三紀初頭の貫入岩類

とが分布する。大局的には調査地域北東部にオルドビス紀の泥質岩を主体とする堆積岩類が分布し、南西部に向かい次第に若い時代の堆積岩類が分布する配列を成すと見ることが出来る。本調査地域は鉱床生成区分では、錫鉱床帯および東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置する。

近年になり東部アンデス山系の東斜面およびサブアンデス以東の河川沿いにおいて砂金が採掘され始め砂金鉱床地帯として脚光を浴びるに至った。砂金の源は従来西部に分布する多金属鉱床帯に由来するとされていたが、ヤニ地区における金鉱床の胚胎形式が明らかになるにつれ、新たな源が想定されるに至った。

含金卑金属鉱化帯は先述の通り調査地域の北部域に主として分布しており、南部域下流部に分布する砂金鉱床帯との関連は付けがたい。南部域の中心にあるヤニ地区の金鉱化帯が砂金鉱床の源の一つであるとする考え方は、また同様の鉱化作用が北部域にも存在しうる可能性を指摘しうる。

ヤニ地区の金鉱化作用に最も関与したとされるヘルシニアン変動期に貫入した花崗岩類はヤニ南方にのみ記載されているが、鉱床胚胎母岩であるオルドビス系は広範に分布しており、潜在する同種岩体が存在するかどうかは今後の北方域における広域的探査には重要となる。

南方域については、花崗岩体本体が連続し、かつオルドビス系の低変成域も記載されている(Schneider, H. J., 1990)ことから、本年度の調査範囲のみならず、調査対象地域全域が要調査範囲として抽出しうる。

珪化硬質岩に胚胎するマント型錫鉱床は、興味深い調査対象ではあるが、錫市場の低迷を考慮すれば、高品位鉱床あるいは大規模鉱床の可能性が無い限り、調査対象としての順位は低いものと判断される。

以上を総括すれば、既存資料解析から得られる‘調査が必要’と判断される区域を抽出するための要件は、次の2項目に要約することができる。

- ①低変成度オルドビス系の分布域抽出
- ②低変成度黒色頁岩分布域中の褐鉄鉱ヤケ賦存域抽出