

ットを絞ることは難しい。

チュスマサ及びカミーニャの2地域は、斑岩銅鉛床型の徴候を有し、将来の探鉛ターゲットとなる可能性がある。両地域とも地化学探査の結果は Cu について低品位であったが、斑岩銅鉛床型の徴候は、いずれも沢部に一部のみが露出しているもので、大半はイグニブライトや新期火山岩類に覆われている。潜頭鉛床探査の初期段階としては、品位よりも地質環境の位置づけに注意が払われるべきであろう。両地域とも斑岩銅鉛床ベルト中に位置する。このうち、チュスマサ地域は、露頭の鉛化が弱く、アクセスの悪さから、探鉛の難易度は上と考えられる。一方、カミーニャ地域では、露頭のフィリック変質帯に発達するのは黄鉄鉛化のみであるが、その周辺に数カ所の Cu 鉛徴地が報告されていることが注目される。

第6章 結論及び提言

6-1 結論

第I州地域において、GEOSCAN 画像解析を含む既存データ解析、衛星画像解析、地質調査、地化学探査、物理探査(重力法)、空中磁気探査、空中磁気探査再解析及びボーリング調査が実施され、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・鉛床に関する既存データ解析により、調査地域の既知鉛床・鉛徴地の鉛化作用がタイプ分けされ、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(鉛脈型 Mo, 不規則形型 Cu, 鉛脈型 Cu, 形態不明型 Cu, 鉛脈型 Au, 形態不明型 Au)が選定された。
4. 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、北部地域では暁新世～始新世前期の斑岩銅型鉛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, Copaquire 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. 既存データ解析及び衛星画像解析の結果、斑岩銅型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。

(1) 斑岩銅型鉱床型の鉱徴地及びその周辺 4km の範囲

(2) 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

11. 既存データ解析, 衛星画像解析結果から抽出された鉱床賦存有望地域 8カ所を調査した。その結果, 斑岩銅鉱床型鉱化作用に特徴的な産状を有し, 鉱床賦存ポテンシャルのある地域として, モチャーソレダー, ラプラナダ, クイーンエリザベス, ティグナマール, カマローネス及びダイアナの 6 地域が確認された。モチャーソレダー, ティグナマール及びカマローネスの各地域の一部では既に試錐探鉱により斑岩銅鉱床型の二次富化帯が把握されている。これらの地域のうち, Cu-Mo 鉱化の強さから, 優良鉱床の賦存ポテンシャルが最も高いのは, クイーンエリザベス地域及びラプラナダ地域と考えられる。

モチャーソレダー地域は, 既にモチャ地区で確認されている鉱床の他に, モチャ東部及びモチャ東部～ソレダー地区間に斑岩銅鉱床賦存の可能性がある。

ティグナマール地域は, 北部及び南部の 2カ所に変質帯が存在する。北部の北側では既に斑岩銅型の鉱化帯が確認されており, 既試錐探鉱実施地区以外にも探鉱余地は残されているが, プロピライト化変質や浅熱水型鉱化が卓越する可能性があるなど, 斑岩銅型鉱化帯の発展性には否定的要因も存在する。また, 北部の南側には今回調査を実施できなかった変質帯が広範囲に分布しており, 探鉱余地が残されているが, 地形は急峻でアクセスは容易でない。

カマローネス地域では, カマローネス沢～調査地域南端部間に斑岩銅型－浅熱水型の一連の熱水活動によると考えられる広域熱水変質帯が把握され, 環状構造, 貫入岩分布, 流体包有物データ, 地化学異常, 高磁気異常, 重力異常等から, 熱水活動の中心と考えられる斑岩銅型鉱化帯の潜在位置が推定された。既に確認されている石英斑岩を母岩とする銅鉱化はその周縁相である可能性が考えられる。

ダイアナ地域は斑岩銅鉱床の上位に形成される Au に富む鉱化・変質帯に類似しているため, 地下に同鉱床が潜在している可能性がある。

12. 空中磁気探査の解析結果から抽出された鉱床賦存有望地域の検証または概査を目的として, 14 地域を調査した。その結果, 斑岩銅鉱床型鉱化作用に特徴的な産状を比較的多く有し, 鉱床賦存ポテンシャルのある地域として, チュスマサ及びカミーニャの 2 地域が抽出された。両地域では, 斑岩銅鉱床型鉱化作用に特徴的な産状のうち, 面的な拡がりを持ったフィリック変質の存在, 鉱化を伴う斑岩若しくは花崗岩類の存在, 及び北部チリ～ペルーの斑岩銅鉱床と同様の生成年代(65-48 Ma)を有する貫入火成岩または変質帯の存在については確認されたが, 網状石英脈や Cu, Mo の岩石地化学異常は認められない。カミーニャ地域の西部変質帯における石英斑岩中の黄鉄鉱染帯は, Lowell & Guilbert (1970)の San Manuel - Kalamazoo モデルにおける Pyrite shell に似る。

13. チュスマサ地域以南では、暁新世－始新世前期(65-48Ma)の斑岩銅鉱床ベルトと始新世後期－漸新世前期(43-31Ma)の斑岩銅鉱床ベルトが、ほぼ N-S 方向の境界線を有して並列分布するが、チュスマサ地域より北では、主として、暁新世－始新世前期の斑岩銅鉱床ベルトが発達し、始新世後期－漸新世前期の斑岩銅鉱床ベルトは、NW-SE 方向に分布する新第三系-第四系火山岩類に切られるような形となる。また、ティグナマール地域の北方域には新第三紀中新世の貫入火成岩が分布し、始新世後期－漸新世前期の貫入火成岩が存在する可能性は小さいと考えられる。従って、チュスマサ北東地域～ティグナマール地域間では、始新世後期－漸新世前期の斑岩銅鉱床ベルトが、新第三系-第四系火山岩類の下に隠されているか、若しくはティグナマール地域の北方域のように存在しない可能性が考えられる。

14. カマローネス地域の東部から南東部、南部にかけての広い範囲、北西端部～南西端部の調査地域西縁部及び中央部のカマローネス沢中流域～パチカ西方に高重力異常が分布する。一方、低重力異常は北部のビートル沢中流域からスクーナ沢中流域にかけての広い範囲、南西部のカマローネス沢南岸及びスクーナ沢上流の北東端部に分布する。

カマローネス沢流域は南西部の一部を除き高重力異常域となっている。ビートル沢中流～スクーナ沢中流に位置する低重力異常は、その東縁、南縁、西縁の3方で比較的重力傾度が高く、明瞭な輪郭を示すことに特徴がある。

カマローネス地域に分布する基盤岩類は高重力異常と密接な関係にある。この関係は、基盤岩類の岩石試料の密度が $2.50\sim 2.80\text{g/cm}^3$ の高い値を示すことによっても裏付けられる。高重力異常は、基盤岩類が地表に露出するか地下浅部に広く伏在している場所、すなわち、イグニンプライトが欠如するかその厚さが薄い場所を示し、一方、低重力異常は基盤面が相対的に深く、イグニンプライトの厚さが厚い場所を表していると考えられる。3次元2層構造解析の結果から、イグニンプライトの厚さはスクーナ沢中流からビートル沢中流～上流にかけての広い範囲と、カマローネス沢上流～中流域の南岸に位置する帯状の範囲で500m以上、地表の標高が高い北部から北東端部にかけての地域や南東部では1,000m以上に達するものと推定される。

重力異常及び磁気異常の分布から、カマローネス地域には北西端部のビートル沢流域、調査地域の南部、中央部のエスキーニャ付近とパチカ東方などに、地下で大きな広がりを持つ貫入岩体の存在が推定される。貫入岩体の一部は地表に露出しており、また、岩体を覆う火山岩類の厚さは重力異常の解析でいずれも200～300m以下と推定されており、今後の探鉱の候補地に揚げられる。東部のサグワラ周辺、西部のスクーナ沢下流域、南西部のカマローネス沢下流域については、地下浅部に基盤岩類が伏在するとの解析結果が得られているが、これらの地域には顕著な磁気異常は検出されなかった。

15. 空中磁気解析に基づき調査地域全域の潜頭性広域地質構造が把握され、Domeyko 断層系をはじめとして、鉍化作用と関係する断層系の北方への連続性が明らかになった。

16. 調査地域全域で帯磁率測定が実施され、得られた結果は空中磁気探査再解析に供された。帯磁率と、岩種及び変質との関係が明らかになった。帯磁率は、貫入火成岩で最も高い。また、帯磁率は、フィリック変質や酸性変質により低下するが、プロピライト化変質ではほとんど低下しない。

17. 空中磁気中波長異常域付近の露頭を主対象として採取された試料の残留磁気及び帯磁率測定が実施された。残留磁気の極性は、14ヶ所中6ヶ所が逆磁極と推定される。また、地表で高い帯磁率が得られた低異常域が存在することから、調査地域には多くの逆磁極を有する空中磁気低異常域が存在すると考えられる。逆磁極・高帯磁率を有する空中磁気低異常の一部は、空中磁気高異常の一部とともに、潜在する貫入火成岩や固結マグマを示している可能性がある。

18. 地質概査を実施した14地域のうち、9地域でフィリックまたは酸性変質帯または鉍化帯を確認した。これらの変質帯または鉍化帯は、中波長異常域の周縁部～付近、磁気中間強度帯の内部～付近、及び短波長異常域の周縁部～付近のいずれにも合致している。その場合、中波長異常は高異常と低異常がほぼ半々であるが、短波長異常は高異常が7割を占める。変質帯・鉍化帯または貫入火成岩があれば、その付近に磁気異常があるともいえるが、磁気異常(中波長異常域の周縁部と磁気中間強度帯の重なり)があっても変質帯・鉍化帯または貫入火成岩が浅部にあるとは限らない。

19. 空中磁気の間接強度帯と中波長異常域周縁部の重なる部分またはその近傍で実施した12孔のボーリングのうち、斑岩銅鉍床の胚胎層準である漸新世前期以前の地層(先下部漸新統)に到達したのはカマローネス地域の3孔(MJC-1, 11, 12)のみである。このうち、MJC-1及びMJC-11は、それぞれ、カマローネス鉍徴地の斑岩銅型鉍化作用の母岩である石英斑岩と同質の角礫貫入岩及び貫入火成岩を捕捉し、旺盛な黄鉄鉍鉍化を確認した。これらの2孔は斑岩銅鉍床型の鉍化・変質帯を捕捉した可能性が高いと考えられる。また、MJC-12も始新世前期の活動と考えられる石英閃緑岩を捕捉し、弱い黄鉄鉍鉍化を確認した。一方、カマローネス地域以外で実施した9孔は、古第三系漸新統-新第三系中新統の礫岩若しくはこれより若い地層中を掘進した。カミーニャ北東地域の1孔(MJC-10)は、第三系-第四系火山岩中に、黄鉄鉍化と酸性変質からなる浅熱水型の鉍化・変質帯を捕捉した。

20. 各孔の坑井地質及びカッティングスの帯磁率変化から、空中磁気の中波長異常または短波長異常と基盤深度との関係を見いだすことはできない。カマローネス地域では、地上の先下部漸新統分布域からボーリングまでの距離が1km以内と短かったことが、先下部漸新統に到達した大きな理由と考えられる。

21. カッティングスの帯磁率変化の一般傾向は、坑井地質や変質と対応している。すなわち、苦鉄質火成岩の帯磁率は高く、また、第三系及び上部第三系-第四系の礫岩の帯磁率は、火砕岩や浅部礫層のそれに比べ高い。また、帯磁率は、フィリック変質帯、酸性変質帯及び酸化帯で相対的に低く、プロピライト化変質帯で高い。

22. 空中磁気データの周波数解析により、既知の斑岩銅型鉱化帯が中波長異常周縁部、短波長異常及び磁気中間強度帯から構成される特有の磁気異常パターンを有することを見いだした。この磁気異常パターンでは、斑岩銅型鉱化作用の前駆的活動産物であるバソリス状深成複合岩体が中波長異常として、鉱床を含む半深成岩類が短波長異常として、また、貫入火成活動に伴う熱水変質帯が磁気中間強度帯として表現されているものと考えられる。

23. 斑岩銅型鉱化帯に特有の磁気異常パターンを用いたパターン分析により鉱床有望地域を絞り込む方法を検討した。絞り込みにあたっては、火山地域にも同様の磁気異常パターンが形成されること、大規模な変質帯では貫入火成岩が磁性を失い短波長異常として抽出されない場合があること、誘導磁化と残留磁化が打ち消しあって中波長異常が形成されない場合があること、地形や礫岩層によっても中波長異常が形成される可能性があることなどに留意する必要がある。

6-2 将来への提言

3年間にわたる第I州地域資源開発調査により、空中磁気データや地質鉱化データ等の鉱物資源調査に有用な情報を得ることができた。未だ発見されていない優秀な斑岩銅鉱床が存在する可能性が高いと思われる本地域において、今後これらのデータを活用しつつ調査を実施することを提言する。

調査の実施にあたっては、以下の点に留意することが望ましい。

1. 調査手法について

本地域はその表層を厚く新期火山岩類が覆っており、その下に存在すると期待される斑岩銅鉱床の探知を困難にしている。このような地域における探査手法として、空中物理探査及び重力探査を実施した。それぞれについて可能性と課題を以下に述べる。

(1) 空中磁気探査

マクロな視点で見ると、チリ北部の主要な斑岩銅鉱床の分布と横断性磁気異常(Transverse magnetic anomalies)との間に高い相関があることが CODELCO によって指摘されてきた。第 I 州の中～南部に位置する主要な斑岩銅鉱床はこれに当てはまるが、北部地域については横断性磁気異常が不明瞭になっているため、本調査では、横断性磁気異常に限定せずすべての磁気異常を解析・検討の対象とした。斑岩銅鉱床と磁気異常との関係を個々の磁気異常レベルで検討するため、周波数解析手法を適用した結果、既知斑岩銅鉱床分布域に中波長、短波長及び磁気中間強度帯のセットからなる共通の磁気異常パターンが存在することを見いだした。この磁気異常のセットについてパターン分析を行い、その結果を調査地域に適用して同じ磁気異常パターンをもつ地域の抽出を行い、探鉱上有望と考えられる磁気異常域を抽出した。

今後、抽出された磁気異常域を含む有望地域においては、変質帯、鉱化帯、関係火成岩体等を確認することが課題となるが、火成岩体の存在、規模等を把握する上で空中磁気データを用いた2次元あるいは3次元の精密モデリングが有効と思われる。なお、深度情報についてはモデリングで必ずしも高精度のデータが得られるとは限らないので、他の手法（ボーリング調査、重力探査、電磁探査等）によるデータを参考にする必要がある。

(2) 重力探査

第 2 年次にカマローネス地域で実施した重力探査は、イグニンプライトの厚さ等の地質構造を推定するうえで有効であると思われる。実施に係るコストが比較的高いため、実施範囲を限定する必要がある。また、重力探査とジョイント解析を実施することで磁気データの利用価値も高まると思われる。さらに、将来、空中重力探査法等が低コストで実施可能となれば、本地域における有効な調査手法になるものと思われる。

2. 斑岩銅鉱床ベルトについて

第 I 州における斑岩銅鉱床ベルトにつき、クイーンエリザベス鉱徴地以北での連続性は放射性年代測定データの不足により不明瞭であった。今回の放射性年代測定により、鉱床生成区がより明確になったことは、鉱床探査における有望地域の絞り込みに役立つものと期待される。

3. 有望地域について

今回の調査によって抽出された有望地域の地質・鉱床を明らかにするため下記調査を実施することを提言する。

(1) 空中磁気探査により抽出された磁気異常域

パターン分析により抽出された磁気異常域に対して衛星画像解析による地表鉱徴の抽出、及び現地踏査を実施する。

(2) 地質調査により抽出された鉱化変質域

地質調査により抽出された7地域(モチャーソレダー, ラプラナダ, クイーンエリザベス, ティグナマール, ダイアナ, チュスミサ及びカミーニャ)に対し, さらに精密な地質調査等を実施する。

(3) ボーリング調査により抽出された有望地

カマローネス地域で推定された斑岩銅型鉱化帯潜在部に対し, さらにボーリング調査を実施する。