

第9章 結論及び提言

9.1 結 論

平成11年度から平成13年度までの3か年にわたり、クリブ-メジェス・エルバブ地域全域を対象とする衛星画像解析を、ブキル、ラクワット-アルグブ・アダマ、バジナ・ケビラ及びウエド・ジェブスの4地区で写真地質解析、地質調査、物理探査及びボーリング調査を、シリアナ地区で物理探査及びボーリング調査を実施し、以下の事が明らかとなった。

(1) 衛星画像解析

(a) ランドサット TM 画像解析

最も地質、地質構造、岩相を反映した画像と考えられるフォールスカラー画像(RGB=7・4・1)を使用して、写真地質学的判読作業を行った結果、判読結果は50万分の1地質図及び100万分の1構造図とよく一致する。

(b) JERS-1 SAR 画像解析

リニアメントは三畳系、白亜系及び第三系分布域に多く認められ、北東-南西系のものが最も多く、北西-南東系、東西系のものも認められる。既知鉱床・鉱徴地が分布するブキル地区、ラクワット-アルグブ・アダマ地区、バジナ・ケビラ地区及びウエド・ジェブス地区には、北西-南東系のリニアメントが卓越する。

(2) 写真地質解析

チュニジア共和国で入手したモノクロ空中写真(縮尺1:25,000)を使用し、各地区におけるリニアメントの抽出及び岩相分布の解明を目的として行った。

ブキル地区 北東-南西方向、北西-南東方向及び東西方向の断層と推定されるリニアメントが三畳系、白亜系及び第三系分布域に認められた。これらのなかでは北東-南西方向のリニアメントが最も多い。そのほか、層理を示すリニアメントが三畳系、白亜系及び第三系分布域に認められた。これらのリニアメントは三畳系分布域では北東-南西～東西方向を示し、白亜系分布域では北東-南西～東北東-西南西方向を示し、第三系分布域では北東-南西～東西方向を示す。

ラクワット-アルグブ・アダマ地区 南北方向、北西-南東方向、北東-南西方向及び西北西-東南東方向の断層と推定されるリニアメントが白亜系及び第三系分布域に認められた。そのほか、層理を示すリニアメントが三畳系、白亜系及び第三系分布域に認められた。これらのリニアメントは三畳系分布域では北東-南西～東北東-西南西方向を示し、白亜系分布域では南北方向、北北東-南南西方向及び北西-南東方向を示し、第三系分布域ではほぼ南北方向を示す。

バジナ・ケビラ地区 北東-南西方向、南北方向及び北西-南東方向の断層と推定されるリニアメントが三畳系及び第三系分布域に認められた。これらのなかでは北東-南西方向のリニアメントが最も多い。そのほか、層理を示すリニアメントが主に三畳系分布域に認められた。これらのリニアメントは北東-南西～東北東-西南西方向を示し、地層の伸長方向と調和的である。

ウェド・ジェブス地区 北東-南西方向、北西-南東方向及び東西方向の断層と推定されるリニアメントが三畳系、白亜系及び第三系分布域に認められた。これらのなかでは北東-南西方向及び北西-南東方向のリニアメントが主な地層を規制している。そのほか、層理を示す東北東-西南西方向のリニアメントが主に第三系分布域に多く認められた。

(3) 地質調査

ブキル地区 地質は三畳系、白亜系、第三系及び第四系から構成される。三畳系は石膏、ドロマイト、石灰岩、泥質岩、砂質岩などからなりダイアピルを構成する。白亜系は石灰岩、石灰岩マール互層からなり、三畳系と白亜系の接触部には角礫化・ドロマイト化炭酸塩岩類からなる漸移帯(Transition zone)が発達する。第三系はマール、砂岩、泥岩、礫岩などからなる。第四系は沖積層及び沖積土である。ダイアピル南東縁部の白亜系には稼行実績のあるブキル鉱床(既採掘鉱量40万トン、品位Pb+Zn10%)が胚胎し、また、三畳系と白亜系の接触部に北東-南西方向に発達する漸移帯(Transition zone)中には、Chantier 2, Saint-Pierreなどのセレストタイト(Sr)鉱床が発見されている。

ラクワット-アルグブ-アダマ地区 地質は三畳系、白亜系、第三系及び第四系から構成される。三畳系は石膏、ドロマイト、石灰岩、泥質岩、砂質岩などからなりダイアピルを構成する。白亜系は石灰岩及びマールからなり、三畳系と白亜系の接触部には角礫化・ドロマイト化炭酸塩岩類からなる漸移帯が発達する。第三系は石灰岩、砂岩、泥岩、礫岩を主とし、第四系は沖積層及び沖積土である。白亜系には稼行実績のあるラクワット鉱床(既採掘鉱量推定5.5万トン)を胚胎する。

バジナ・ケピラ地区 地質は三畳系、白亜系、第三系及び第四系から構成される。三畳系は石膏、ドロマイト、石灰岩、泥質岩、砂質岩などからなりダイアピルを構成する。白亜系は石灰岩及びマールからなり、三畳系と白亜系の接触部には角礫化・ドロマイト化炭酸塩岩類からなる漸移帯が発達する。第三系は石灰岩、砂岩、泥岩、礫岩を主とし、第四系は崖錐・崩積堆積者及び沖積層から構成される。本地区にはKoudiat Soda, Koudiat Safra, H'Zamel Assouedなどの鉱床・鉱徴地が知られている。

ウェド・ジェブス地区 地質は三畳系、白亜系、第三系及び第四系から構成される。三畳系は石膏、ドロマイト、石灰岩、泥質岩、砂質岩などからなりダイアピルを構成する。白亜系は石灰岩、マール及び泥岩からなり、三畳系と白亜系の接触部には角礫化・ドロマイト化炭酸塩岩類からなる漸移帯が発達する。第三系は泥質石灰岩、マール、砂岩、泥岩を主とする。第四系は崖錐・崩積堆積者及び沖積層から構成される。Oued Jebb, Kef Lasfra, Dar Chebkaなどの鉱徴地が知られている。

(4) 物理探査

ラクワット-アルグブ-アダマ地区、バジナ・ケピラ地区、シリアナ地区及びウェド・ジェブス地区の鉱徴地に対して、重力法とIP法の組み合わせによる物理探査を実施した。ラクワット-アルグブ-アダマ地区には重力法とIP法に加え磁気法も適用した。

(a) IP 法

本調査で対象としているミシシッピーバレー型鉛・亜鉛鉱床は大きな変質帯を伴わないので、従来、物理探査の適用は難しいと言われていた。本調査の結果、IP 法の分極率異常が既知鉱床周辺に現れた。これらの分極率異常に対して実施されたボーリングの結果、最も強い分極異常を示したラクワット-アルグブ・アダマ地区南部のラクワット鉱山跡付近の MJTK-L2 孔で鉱化帯が捕捉された。また、その他の分極率異常に対して実施されたボーリングでも弱いながらも鉱徴が捉えられている。ボーリングコアや露頭で採取した岩石試料の室内試験では、鉱化の認められる試料だけが高分極率を示した。したがって、分極率は鉱化と関連があり直接探鉱の指標となりうると考えられる。本地域の地層は全般的に低比抵抗を示すため、ほとんどの測定で数 A 以上の大電流を流しているにもかかわらず、測定値が探査装置の下限に近い。しかも、電線や市街地からの人工ノイズもかなり大きいので、分極率の測定は特に難しい。このような状況でも鉱徴地周辺の分極率異常では良好な測定が行われており、その信頼性は高い。

IP 法の比抵抗は地層の分布をよく反映している。鉱床賦存の最大指針となる三疊系と白亜系の接触部の不整合面は短い距離で高比抵抗から低比抵抗へ急激に変化する比抵抗不連続面として断面図でも平面図でも明瞭に認識できる。平面図上に認められるこの比抵抗不連続面の凹凸は、鉱床胚胎域を規制し、三疊系・白亜系接触部と交差する断層の位置を示唆している。

本地域全体、特に新生代第三系、第四系の分布域ではかなりの低比抵抗を示す傾向がある。しかも、鉱床胚胎域と推定される分極率異常に近接した場所の深部に 1Ωm 前後で低比抵抗異常が存在することが多い。これらの分極率異常を対象に実施したボーリングの内、ブキル地区、バジナ・ケピラ地区及びシリアナ地区で、この低比抵抗異常周辺で高地下水圧の砂層に遭遇し、掘削続行不可能となった。シリアナ地区のボーリングで採取した孔内水は海水の約 3 倍の電気伝導度を示し、その成分は鉱液となる可能性を秘めている。このことから、この低比抵抗異常は鉱化と密接な関連のある塩水で飽和した地層を表していると考えられる。しかしながら、この塩水は高圧の被圧地下水なのでボーリングや坑道掘削の支障になると考えられる。

(b) 重力法

テュンジア鉱山公社が探鉱目的の国土基本図として実施している広域の重力探査では、本地域の鉱徴地は高重力異常の内部又は縁辺部に位置している。本地域の鉱徴地は低密度の岩石で構成される三疊系ダイヤピル周辺にあることと一見矛盾している。この地域がアルプス造山運動などの広域的な圧縮を受けて、高重力異常を示す大規模なドーム構造や背斜構造が形成され、それらの頂部にできた断裂に沿って低密度のダイヤピルが上昇してきたと解釈できる。

本調査で実施した精密重力探査による重力分布から鉱徴地周辺に多数の断裂存在を推定することができた。特に、広域重力異常と差を示す残差重力異常ではそれらの断裂をより明瞭に示し、比抵抗分布と組み合わせることで鉱化帯を規制する地質構造を推定することができた。また、残差重力異常ではダイヤピル分布域は高密度を示すドロマイト分布域を除くと低異常を示しており、

ダイヤピルが低密度層であることと調和的であった。

(c) 磁気法

ラクワット-アルグブ-アダマ地区で実施した磁気法による磁気異常の平面的分布から地質や構造を推定することは容易ではなかった。これは本地域が中緯度にあるため磁気異常の現れ方が重力法ほど単純でないためと考えられる。同地区の三畳系は分布範囲が限定されているため、感度の劣る残差重力だけの断面解析では三畳系を推定することは難しい。しかしながら、磁気異常も考慮した断面解析の結果、細長い三畳系の構造を推定することができた。

以上の結果、今回適用した測線を利用して測定する重力法と IP 法を組み合わせた物理探査は本地域の鉱床探査に有効であることが分かった。ラクワット-アルグブ-アダマ地区の深部の分極率異常周辺で鉱化帯が確認されたことから、新規の潜頭鉱床を探すためには IP 法では 100m 程度の電極間隔が適していることも確認できた。

(5) ボーリング調査

ボーリング調査はブキル地区において、MJTK-B1 及び MJTK-B2 の計 2 孔を、ラクワット-アルグブ-アダマ地区において、MJTK-L1, MJTK-L2, MJTK-L3, MJTK-L4 及び MJTK-L5 の計 5 孔を、バジナ-ケビラ地区において MJTK-C1 及び MJTK-C2 の計 2 孔を、シリアナ地区において MJTK-A1 及びウェド-ジェブス地区において MJTK-O1 の総計 11 孔を実施した。

(a) ブキル地区

MJTK-B1 孔 分極率異常の確認及び既知鉱床の延長を探索することを目的とした本孔では、幅 18m、平均品位 17.19% のセレストライト鉱化作用が認められた。チュニジア鉱山公社の調査では、推定鉱量 300 万トンと計算されている。

MJTK-B2 孔 分極率異常の確認を目的とした本孔では、鉱化作用は認められなかった。探索ターゲットとした分極率異常が第三系分布域で抽出されたことから、新鉱化圏としての第三系中の鉛亜鉛鉱化作用を期待したが、分極率異常の原因は砂岩中の黄鉄鉱であると結論された。

(b) ラクワット-アルグブ-アダマ地区

MJTK-L1 孔 ダイヤピル周辺に分布する白亜系の鉱化状況を確認すること及び分極率異常の確認を目的とした本孔では、白亜系中に微弱な鉛亜鉛鉱化作用を確認するにとどまった。探索対象とした白亜系が本地区の鉱床胚胎層とは異なる地層であったため、鉱化作用が弱かったものと推定される。また、分極率異常の原因はマールからなる地層が多量の黄鉄鉱を伴うことに起因することが確認された。

MJTK-L2 孔 第 1 年次調査の結果から抽出された新鉱化帯を探索することを目的とした本孔では、深度 225.50-382.90m の間に幅 16.0m (平均品位 Pb+Zn 4.27%)、幅 11.8m (平均品位 Pb+Zn 6.30%) 及び幅 32.0m (平均品位 Pb+Zn 4.14%) の鉱化帯を 3 層捕らえたほか、深度 237.50-238.50m の 1.0m 間では、Pb 0.7%、Zn 20.0%、深度 275.60-276.60m の 1.0m 間では、Pb 1.92%、Zn 36.0% 及び深度 379.90-380.90m の 1.0m 間では、Pb 3.45%、Zn 16.0% の炭酸塩母岩型鉱石を捕捉した。

岩型鉛鉱石を捕捉した。今後は鉛化帯の連続性・拡がりの確認が急務である。

MJTK-L3 孔 ダイアピル周辺に分布する白亜系の鉛化状況及び分極率異常の確認を目的とした本孔では、白亜系中に微量の閃亜鉛鉛と方鉛鉛を伴う方解石-黄鉄鉛細脈～網状脈が認められたほか、角礫化帯中に少量の閃亜鉛鉛を伴うセレスタイト-方解石脈、方解石-黄鉄鉛細脈などが認められたが、まとまった鉛化帯は認められなかった。分極率異常の原因はダイアピル中の黒色緻密質ドロマイトに伴う黄鉄鉛によるものと推定され、ダイアピルが分極率異常の原因となることが確認された。また、本孔に出現したダイアピルは重力法断面解析で推定された潜頭ダイアピルに一致することから、重力探査結果から推定される基盤がダイアピルを表すことも確認された。

MJTK-L4 孔 MJTK-L2 孔で確認された新鉛化帯の南西方延長を探查することを目的とした本孔では、微量の閃亜鉛鉛と方鉛鉛を伴う方解石-黄鉄鉛細脈～網状脈が見られたが、まとまった鉛化帯は認められなかった。分極率異常の原因は黄鉄鉛を多量に伴うマールと推定された。

MJTK-L5 孔 MJTK-L2 孔で確認された新鉛化帯の北方延長を探查することを目的としたが、深度 242.10m で空洞に遭遇したため掘進が不可能となった。そのため、新鉛化帯北方延長の確認及び分極率異常の確認は行えなかった。しかしながら、方解石-(黄鉄鉛)-閃亜鉛鉛細脈～網状脈が深度 137m 付近に認められ、亜鉛鉛化作用(幅 2.0m, 平均品位 Zn0.74%)の存在が確認された。

(c) バジナ・ケビラ地区

MJTK-C1 孔 H'Zamel Assoued 鉛微地の鉛化状況及び分極率異常の確認を目的とした。H'Zamel Assoued 鉛微地では、白亜系 Aptian 階の炭酸塩岩類に鉛化が確認されているが、本孔では予想された Aptian 階の炭酸塩岩類には鉛化が認められず、Albian 階の炭酸塩岩類に弱い亜鉛鉛化作用(幅 4.0m, 平均品位 Zn0.29%)を確認した。分極率異常の原因は鉛化を伴う黄鉄鉛に起因することが確認された。

MJTK-C2 孔 Kodiat Soda 鉛床下部の鉛化状況及び分極率異常を確認するためのものであったが、第三系中に黄鉄鉛化作用をとらえたにとどまった。したがって、Kodiat Soda 鉛床は下部への連続性が期待できないことが確認された。本孔では鉛亜鉛鉛化作用の存在を確認するという直接的な成果は得られなかったが、地質構造を明らかにした点でその意義は大きい。分極率異常の原因はダイアピル中の黒色緻密質ドロマイトに伴う黄鉄鉛によるものと推定された。

(d) シリアナ地区

MJTK-A1 孔 新鉛床探查及び分極率異常の確認を目的としたが、深度 198.80m で噴気のため掘進が不可能となった。そのため、分極率異常の確認は行えなかったが、深度 112.90-119.30m, 深度 135.00-140.00m 間、深度 174.50-179.50m 間及び深度 190.65- 197.70m 間で、弱い鉛亜鉛鉛化作用(最高品位: 幅 1.0mPb0.33%, 幅 1.0mZn0.64%)をとらえ、Mahjoubia 鉛微地と Siliana 鉛微地の中間の位置に鉛亜鉛鉛化作用が存在するということが確認された。

(e) ウェド・ジェブス地区

MJTK-O1 孔 Dar Chebka 鉛微地西方の鉛化状況及び分極率異常の確認を目的とした。鉛化作用

は深度 82.50-88.70m間に認められ、方解石-(黄鉄鉱)細脈に微量の方鉛鉱を伴う。そのほか、深度 272.80-276.30m間には裂隙を充填した少量の方鉛鉱が認められたが、まとまった鉱化部は認められなかった。分極率異常の原因は泥質石灰岩に伴われる黄鉄鉱を反映したものと推定された。

8.2 提 言

平成 11 年度から平成 13 年度までの 3 か年にわたり、クリブ-メジェス・エルバブ地域から、要調査地区として選出されたブキル、ラクワット-アルグブ・アダマ、バジナ・ケビラ、シリアナ、ウエド・ジェブスの 5 地区で各種調査を実施した。

調査の実施に当っては、地質調査と複数の物理探査(重力法、IP 法)を組み合わせた調査を実施した。調査結果に基づく地質及び地質構造データに、重力基盤と比抵抗構造とを組合せ、地下構造の推定を行い、重力基盤周辺の高～中比抵抗帯に高分極率異常が重複する箇所が鉱化帯であるという作業仮説を提案した。この作業仮説に基づき新鉱化帯として抽出されたラクワット-アルグブ・アダマ地区のボーリング調査で、白亜紀の炭酸塩岩類中に幅 16.0m(平均品位 Pb+Zn4.27%)、幅 11.8m(平均品位 Pb+Zn6.30%)及び幅 32.0m(平均品位 Pb+Zn4.14%)の鉛亜鉛鉱化帯を 3 層捕捉したほか、他の 4 地区でも鉱化作用の存在を確認した。

新鉱化帯を捕捉したことにより、地質調査と重力探査及び電気探査(IP 法)の組み合わせが有効であることが確認され、本地域における潜頭鉱床を探る方法が理論的にも実際的にも確立されつつある。このことは本地域で今後の潜頭鉱床探査を展開するにあたり、極めて有力な武器となっていくことであろう。

今後、本地域又は地質的に類似する地域で、ミシシッピバレー型又は Carbonate-hosted 型鉛亜鉛鉱床探査を行う場合、測線を利用して測定する重力法と IP 法を組み合わせた物理探査を実施することが望ましい。ラクワット-アルグブ・アダマ地区のように三畳系の露出が少ない地域では、磁気法の併用も望ましい。IP 法は単独で評価できるが、重力法は広域重力との残差重力で評価すべきであり、磁気法は重力法の補完調査と位置づけた方が良いと思われる。また、鉱床規模によっては、本調査の標準とした 500mの測線間隔での調査実施後、抽出された有望地周辺で、さらに狭い 100～200mの測線間隔での調査が必要となろう。

また、要調査地区の全てで鉱化作用の存在が確認され、本地域の鉱化ポテンシャルが決して小さくないことが明らかとなってきた。本調査では、捕捉された全ての物理探査異常に対してボーリング調査が行われてはいないので、今後さらにボーリングを実施することにより、新鉱床が捕捉される可能性は残っている。例えば、ウエド・ジェブス地区の Bou Mous 鉱徴地や Rag el Bagrat 鉱徴地は、分極率異常が認められているが、ボーリング調査が行われていない。また、ボーリングを実施した同地区の Dar Chebka 鉱徴地周辺にも探鉱の余地が残っている。

そのほか、ラクワット-アルグブ・アダマ地区で着鉱した新鉱化帯の追跡を行い、鉱化の具体的な形状を把握して、新鉱床の存在を明らかにすることも、今後の探査のひとつの方向である。