

チュニジア共和国クリブ-メジェズ・エルバブ地域 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

チュニジア共和国クリブ-メジェズ・エルバブ地域 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、チュニジア共和国政府の要請に応え、同国に位置するクリブ-メジェズ・エルバブ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査、物理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年次に当たり、金属鉱業事業団は4名の調査団を編成して平成12年2月7日から平成12年3月17日まで現地に派遣した。

現地調査は、チュニジア共和国政府機関、チュニジア工業省、チュニジア鉱山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ュニジア共和国政府機関、ならびに外務省、通商産業省、在チュニジア共和国日本国大使館及び関係各社の方々に哀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

要 約

本報告書はチュニジア共和国クリブ-メジェズ・エルバブ地域における資源開発協力基礎調査(資源開発調査)の第1年次の調査結果をまとめたものである。

現地調査は平成12年2月7日から平成12年3月17日の期間に、チュニジア共和国工業省の協力のもとに、国際協力事業団及び金属鉱業事業団が派遣した調査団によって実施された。

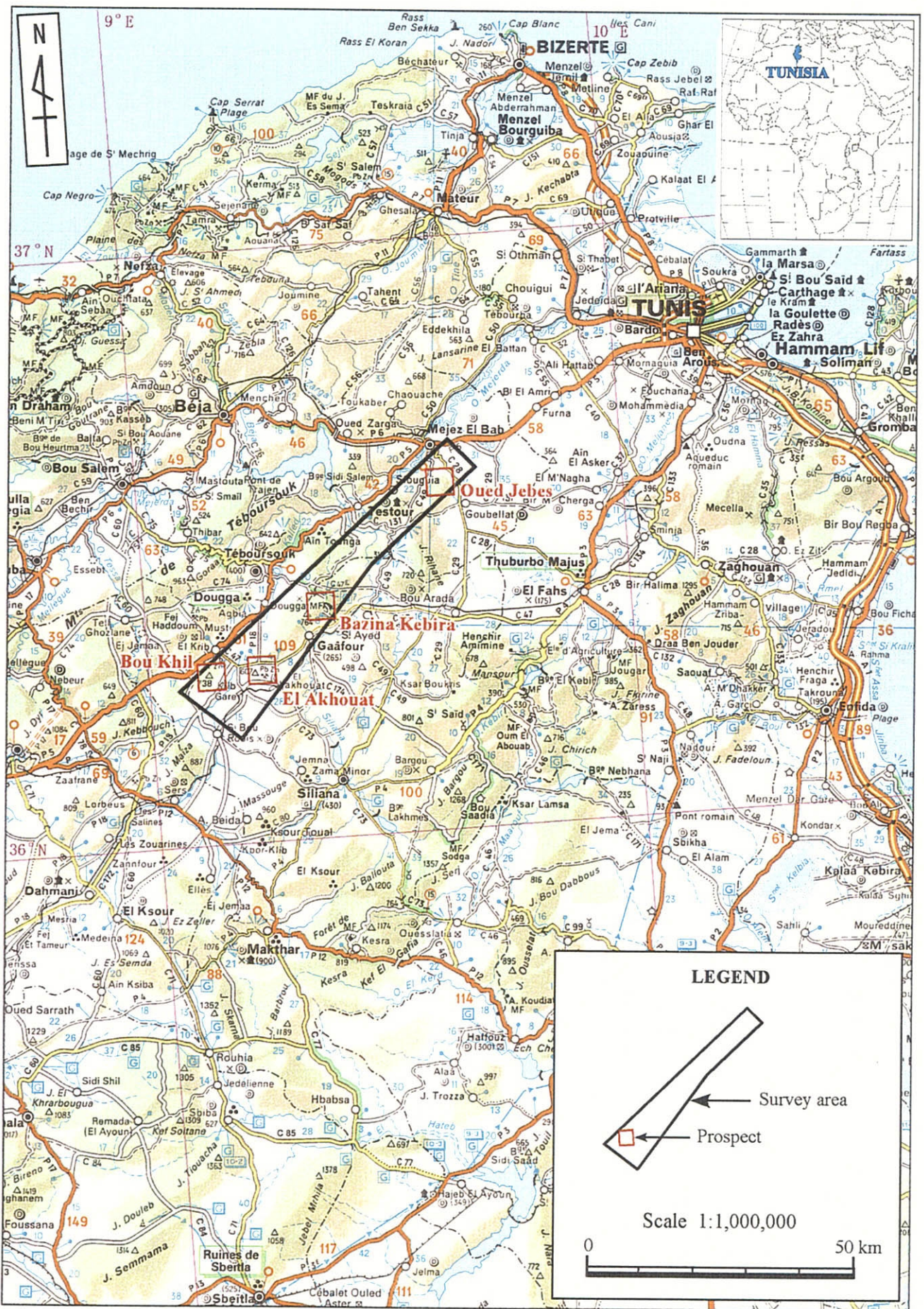
第1年次の調査として、既存データ収集、衛星画像解析、写真地質解析、地質調査及び物理探査(重力法、IP法、磁気探査法)が実施された。既存データ収集及び衛星画像解析はクリブ-メジェズ・エルバブ地域(面積550km²)を対象とし、写真地質解析及び地質調査はクリブ-メジェズ・エルバブ地域から選出されたブキル地区(面積25km²)、ラクワット-アルグブ・アダマ地区(面積25km²)、バジナ・ケビラ地区(面積25km²)及びウェド・ジェブス地区(面積25km²)を対象として行われた。物理探査はブキル地区から選出された面積3km²を対象として重力法及びIP法を、ラクワット-アルグブ・アダマ地区から選出された面積3km²を対象として重力法、IP法及び磁気探査法が行われた。

本地域の鉱床は炭酸塩岩類を母岩とするミシシッピバレー型鉱床又はCarbonate-hosted Pb-Zn鉱床である。本年度調査の結果、以下のような鉱床探査の指針が得られた。

- ① 広域的には地壘状構造又はドーム状構造を示す構造的隆起部は高重力異常域に対応し、炭化水素のトラップとしての役割りを果たし、還元的環境を形成し、硫化物沈殿の場を提供することから、優先的調査対象となる。これは広域重力分布図では高重力異常域に対応する。
- ② そのような高重力異常域のうち、熱水の通り道となる断裂系が発達していると推測される重力異常の急傾斜部に着目する。
- ③ 地質及び地質構造に重力基盤と比抵抗構造とを組合せて、地下構造を推定し、鉱床生成の場としての可能性の高い地区を抽出する。

このような考え方にに基づき、高重力異常域で、かつ重力異常の急傾斜部に相当する本調査地域中央北東部が第2年次の優先的調査対象地区として選出された。この重力異常の急傾斜部には、Assioud鉱徴地、Siliana鉱徴地、Mahjoubia鉱徴地などが確認されており、鉱化ポテンシャルは小さくないものと思われる。優先的調査対象地区に対して、地質調査と複数の物理探査を組合せた調査を実施し、それらを総合解釈することで、地下構造の正確な推定、鉱化帯の位置・規模、鉱化帯周辺の地質環境の把握などが可能になるものと期待される。

しかしながら、本年度の調査結果は鉱床成因論的に明確な型でまとめたものではなく、作業仮説であり、今後の検証にまつべきことがらも多い。したがって、第2年次の調査として、優先的調査対象地区に対する地質調査及び複数の物理探査の実施と同時に、本年度の作業仮説の検証を兼ねて、ラクワット-アルグブ・アダマ地区で抽出された新鉱化帯を対象としたボーリング調査の実施を提案する。



クリブ-メゼズ・エルバブ地域位置図

目 次

はしがき

要 約

クリブ-メジェズ・エルバブ地域位置図

目 次

図表一覧

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 調査の概要	1
1.2.1 調査地域	1
1.2.2 調査内容	2
1.3 調査団の編成	3
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	4
第 3 章 調査地域の地質背景	6
3.1 テュニジア共和国の一般地質	6
3.1.1 地質及び地質構造	6
3.1.2 地 史	9
3.2 クリブ-メジェズ・エルバブ地域の一般地質	10

第 II 部 各 論

第 1 章 衛星画像解析	13
1.1 目的及び解析対象範囲	13
1.2 LANDSAT-TM画像解析	14

1.2.1	岩石及び鉱物の識別原理	14
1.2.2	使用データ及び画像処理	16
1.2.3	フォールスカラー画像	17
1.2.4	主成分圧縮画像	17
1.2.5	写真地質学的判読	23
1.3	JERS-1 SAR画像解析	27
1.3.1	使用データ及び画像処理	27
1.3.2	写真地質学的判読	28
第2章 既存データ収集		34
2.1	地質・地化学探査資料	34
2.2	物理探査資料	35
2.3	鉱徴地調査資料	36
第3章 ブキル地区		40
3.1	写真地質解析	40
3.2	地質調査	40
3.2.1	調査方法	40
3.2.2	地質概要	40
3.2.3	地質構造	43
3.2.4	鉱化作用	46
3.3	物理探査	48
3.3.1	調査方法	48
3.3.2	重力法探査結果	62
3.3.3	I P法探査結果	77
3.3.4	室内試験結果	114
第4章 ラクワット-アルグブ・アダマ地区		116
4.1	写真地質解析	116
4.2	地質調査	116
4.2.1	調査方法	116
4.2.2	地質概要	116
4.2.3	地質構造	119
4.2.4	鉱化作用	121

4.3 物理探査	122
4.3.1 調査方法	122
4.3.2 重力法探査結果	127
4.3.3 I P法探査結果	143
4.3.4 磁気探査法探査結果	180
4.3.5 室内試験結果	187
第5章 バジナ・ケビラ地区	191
5.1 写真地質解析	191
5.2 地質調査	191
5.2.1 調査方法	191
5.2.2 地質概要	191
5.2.3 地質構造	194
5.2.4 鉱徴地	195
第6章 ウェド・ジェブス地区	198
6.1 写真地質解析	198
6.2 地質調査	198
6.2.1 調査方法	198
6.2.2 地質概要	198
6.2.3 地質構造	201
6.2.4 鉱徴地	202
第7章 調査結果の総合検討	205

第Ⅲ部 結 論

第1章 結 論	213
第2章 第2年次調査への提言	215
文 献	216

図 表 一 覧

- 図 1 調査地域位置図
- 図 2 テュニジア共和国北部の地質図
- 図 3 テュニジア共和国北部の地質構造区分図
- 図 4 ダイアピル構造の模式的な断面
- 図 5 画像位置及び解析範囲図
- 図 6 鉄酸化物及び粘土鉱物の分光反射率
- 図 7 フォールスカラー画像 (RGB=3・2・1)
- 図 8 フォールスカラー画像 (RGB=4・3・2)
- 図 9 フォールスカラー画像 (RGB=7・4・1)
- 図10 主成分圧縮画像 (RGB=PC2・PC3・PC4)
- 図11 LANDSAT-TM岩相区分図
- 図12 LANDSAT-TM地質構造解析図
- 図13 合成開口レーダの観測原理
- 図14 JERS-1 SAR画像
- 図15 リニアメント解析図
- 図16 地質単元区分図
- 図17 リニアメント分布密度図
- 図18 鉱徴地分布図
- 図19 ブキル地区地質概略図及び地質断面概略図
- 図20 ブキル地区地質模式層序図
- 図21 ブキル地区のダイアピル構造と地質
- 図22 B3測線地質断面図 (ブキル地区)
- 図23 B5測線地質断面図 (ブキル地区)
- 図24 ブキル地区の鉱化作用モデル
- 図25 調査地域位置図 (物理探査)
- 図26 測線・測点位置図 (ブキル地区)
- 図27 G-H相関図
- 図28 重力法と磁力法のフィルター解析模式図
- 図29 パワースペクトル図
- 図30 鉛直1次微分フィルター効果模式図
- 図31 GDP-32による時間領域IP法の測定模式図
- 図32 実測減衰曲線例

- 図33 見掛比抵抗及び分極率の擬似断面表示法と擬似断面上の異常パターン
- 図34 2.5次元比抵抗モデル計算模式図
- 図35 有限要素法要素とインバージョン用解析ブロック
- 図36 IP法インバージョン解析フロー
- 図37 比抵抗及び分極率室内試験測定法
- 図38 広域重力分布図（補正密度 2.33g/cm^3 ）
- 図39 広域等重力線図（補正密度 2.33g/cm^3 ）
- 図40 ブキル地区等重力線図（補正密度 2.33g/cm^3 ）
- 図41 ブキル地区残差重力図
- 図42 ブキル地区重力法フィルター図（鉛直1次微分）
- 図43 重力法解析断面図（B0測線）
- 図44 重力法解析断面図（B1測線）
- 図45 重力法解析断面図（B3測線）
- 図46 重力法解析断面図（B4測線）
- 図47 重力法解析断面図（B5測線）
- 図48 重力法解析断面図（B6測線）
- 図49 重力法解析平面図（ブキル地区）
- 図50 見掛比抵抗・分極率断面図（B0測線）
- 図51 見掛比抵抗・分極率断面図（B1測線）
- 図52 見掛比抵抗・分極率断面図（B2測線）
- 図53 見掛比抵抗・分極率断面図（B3測線）
- 図54 見掛比抵抗・分極率断面図（B4測線）
- 図55 見掛比抵抗・分極率断面図（B5測線）
- 図56 見掛比抵抗・分極率断面図（B6測線）
- 図57 ブキル地区見掛比抵抗平面図（ $n=1$ ）
- 図58 ブキル地区見掛比抵抗平面図（ $n=2$ ）
- 図59 ブキル地区見掛比抵抗平面図（ $n=3$ ）
- 図60 ブキル地区見掛比抵抗平面図（ $n=4$ ）
- 図61 ブキル地区分極率平面図（ $n=1$ ）
- 図62 ブキル地区分極率平面図（ $n=2$ ）
- 図63 ブキル地区分極率平面図（ $n=3$ ）
- 図64 ブキル地区分極率平面図（ $n=4$ ）
- 図65 比抵抗・分極率シミュレーション図（B0測線）
- 図66 比抵抗・分極率シミュレーション図（B1測線）

- 図67 比抵抗・分極率シミュレーション図（B2測線）
- 図68 比抵抗・分極率シミュレーション図（B3測線）
- 図69 比抵抗・分極率シミュレーション図（B4測線）
- 図70 比抵抗・分極率シミュレーション図（B5測線）
- 図71 比抵抗・分極率シミュレーション図（B6測線）
- 図72 ブキル地区解析比抵抗平面図（標高200m）
- 図73 ブキル地区解析比抵抗平面図（標高300m）
- 図74 ブキル地区解析比抵抗平面図（標高400m）
- 図75 ブキル地区解析分極率平面図（標高200m）
- 図76 ブキル地区解析分極率平面図（標高300m）
- 図77 ブキル地区解析分極率平面図（標高400m）
- 図78 ブキル地区IP法総合解析図
- 図79 クロスプロット図
- 図80 ラクワット-アルグブ・アダマ地区地質概略図及び地質断面概略図
- 図81 ラクワット-アルグブ・アダマ地区地質模式層序図
- 図82 Jebel Ech Cheidダイアピルの断面モデル (Perthuisot, et. al. 1999)
- 図83 測線・測点位置図（ラクワット-アルグブ・アダマ地区）
- 図84 パワースペクトル図（ラクワット-アルグブ・アダマ地区）
- 図85 定点観測による地磁気
- 図86 ラクワット-アルグブ・アダマ地区等重力線図（補正密度 2.33g/cm^3 ）
- 図87 ラクワット-アルグブ・アダマ地区残差重力図
- 図88 ラクワット-アルグブ・アダマ地区重力法フィルター図（鉛直1次微分）
- 図89 重力法解析断面図（L0測線）
- 図90 重力法・磁気探査法解析断面図（L3測線）
- 図91 重力法・磁気探査法解析断面図（L4測線）
- 図92 重力法・磁気探査法解析断面図（L5測線）
- 図93 重力法・磁気探査法解析断面図（L6測線）
- 図94 重力法・磁気探査法解析断面図（L7測線）
- 図95 重力法・磁気探査法解析断面図（L8測線）
- 図96 重力法・磁気探査法解析断面図（L11測線）
- 図97 重力法解析平面図（ラクワット-アルグブ・アダマ地区）
- 図98 見掛比抵抗・分極率断面図（L0測線）
- 図99 見掛比抵抗・分極率断面図（L3測線）
- 図100 見掛比抵抗・分極率断面図（L5測線）

- 図101 見掛比抵抗・分極率断面図 (L6測線)
- 図102 見掛比抵抗・分極率断面図 (L7測線)
- 図103 見掛比抵抗・分極率断面図 (L8測線)
- 図104 見掛比抵抗・分極率断面図 (L11測線)
- 図105 ラクワット-アルグブ・アダマ地区見掛比抵抗平面図 (n=1)
- 図106 ラクワット-アルグブ・アダマ地区見掛比抵抗平面図 (n=2)
- 図107 ラクワット-アルグブ・アダマ地区見掛比抵抗平面図 (n=3)
- 図108 ラクワット-アルグブ・アダマ地区見掛比抵抗平面図 (n=4)
- 図109 ラクワット-アルグブ・アダマ地区分極率平面図 (n=1)
- 図110 ラクワット-アルグブ・アダマ地区分極率平面図 (n=2)
- 図111 ラクワット-アルグブ・アダマ地区分極率平面図 (n=3)
- 図112 ラクワット-アルグブ・アダマ地区分極率平面図 (n=4)
- 図113 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L0測線)
- 図114 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L3測線)
- 図115 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L5測線)
- 図116 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L6測線)
- 図117 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L7測線)
- 図118 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L8測線)
- 図119 比抵抗・分極率シミュレーション断面図 (L11測線)
- 図120 ラクワット-アルグブ・アダマ地区解析比抵抗平面図 (標高200m)
- 図121 ラクワット-アルグブ・アダマ地区解析比抵抗平面図 (標高300m)
- 図122 ラクワット-アルグブ・アダマ地区解析比抵抗平面図 (標高400m)
- 図123 ラクワット-アルグブ・アダマ地区解析分極率平面図 (標高200m)
- 図124 ラクワット-アルグブ・アダマ地区解析分極率平面図 (標高300m)
- 図125 ラクワット-アルグブ・アダマ地区解析分極率平面図 (標高400m)
- 図126 ラクワット-アルグブ・アダマ地区IP法総合解析図
- 図127 ラクワット-アルグブ・アダマ地区等磁力線図
- 図128 磁気断面図 (ラクワット-アルグブ・アダマ地区)
- 図129 ラクワット-アルグブ・アダマ地区磁気探査法フィルター図 (鉛直1次微分)
- 図130 ラクワット-アルグブ・アダマ地区総合磁気解析図
- 図131 バジナ・ケビラ地区地質概略図
- 図132 バジナ・ケビラ地区地質模式層序図
- 図133 Koudiat Safra鉍床北西-南東地質断面図
- 図134 Koudiat Soda鉍徴地北西-南東地質断面図

- 図135 ウェド・ジェブス地区地質概略図
 図136 ウェド・ジェブス地区地質模式層序図
 図137 Oued Jebbs鉍徴地北西-南東地質断面図
 図138 Kef Lasfar鉍徴地北西-南東地質断面図
 図139 品位-鉍量モデル
 図140 既存データ解析結果総括図
 図141 物理探査総合解析断面図
 図142 ブキル地区物理探査総合解析図
 図143 ラクワット-アルグブ・アダマ地区物理探査総合解析図

- 表 1 調査内容及び調査量
 表 2 室内試験項目及び件数
 表 3 テュニスの気象データ
 表 4 解析対象範囲の緯度・経度
 表 5 短波長赤外域に吸収特徴を示す鉍物
 表 6 LANDSAT-TMデータ諸元
 表 7 LANDSAT-TMの観測波長域及び地表分解能
 表 8 地図投影パラメータ
 表 9 各主成分の固有値及び寄与率
 表10 各主成分の固有ベクトル
 表11 判読チャート
 表12 JERS-1 SARデータ諸元
 表13 JERS-1 SARセンサの仕様
 表14 収集資料一覧(地質調査関係)
 表15 収集資料一覧(地化学探査関係)
 表16 収集資料一覧(物理探査関係)
 表17 既知鉍徴地一覧表(クリブ-メジェズ・エルバブ地域)
 表18 収集資料一覧(鉍徴地概査関係)
 表19 収集資料一覧(鉍徴地精査関係)
 表20 収集資料一覧(年次報告関係)
 表21 使用空中写真一覧(ブキル地区)
 表22 化学分析結果(Bou Khil鉍床)
 表23 物理探査測線の仕様(ブキル地区)
 表24 使用重力計の検定結果

- 表25 密度試験結果一覧表(ブキル地区)
表26 比抵抗測定及び分極率測定結果一覧表(ブキル地区)
表27 使用空中写真一覧(ラクワット-アルグブ・アダマ地区)
表28 化学分析結果(El Akhouat鉍床)
表29 化学分析結果(Argoub Adama鉍徴地)
表30 物理探査測線の仕様(ラクワット-アルグブ・アダマ地区)
表31 密度試験結果一覧表(ラクワット-アルグブ・アダマ地区)
表32 比抵抗測定及び分極率測定結果一覧表(ラクワット-アルグブ・アダマ地区)
表33 室内試験結果一覧表(帯磁率)
表34 室内試験結果一覧表(自然残留磁気)
表35 使用空中写真一覧(バジナ・ケビラ地区)
表36 鉍石分析結果(Koudiat Safra鉍徴地)
表37 鉍石分析結果(Koudiat Soda鉍徴地)
表38 使用空中写真一覧(ウェド・ジェブス地区)
表39 鉍石分析結果(Oued Jebbs鉍徴地)
表40 鉍石分析結果(Kef Lasfar鉍徴地)

- 付図1 試料採取位置図
付図2 岩石薄片顕微鏡写真
付図3 鉍石研磨片顕微鏡写真

- 付表1 検鏡結果一覧表(岩石薄片)
付表2 検鏡結果一覧表(鉍石研磨片)
付表3 化学分析結果一覧表
付表4 粉末X線回折結果一覧表

Plate 1 Geological Map (Scale 1:50,000)
(別添図1 地質概略図及び地質概略断面図 縮尺1:50,000)

第 I 部

第I部 総論

第1章 序論

1.1 調査の経緯及び目的

日本国政府はチュニジア共和国政府の要請に応じて、クリブ-メジェズ・エルバブ地域の資源開発協力基礎調査を実施することとし、1999年12月17日に本調査の実施に関する実施細則(S/W)をチュニジア共和国政府と交換した。この実施細則についてのチュニジア共和国政府の回答に基づき、日本側国際協力事業団及び金属鉱業事業団とチュニジア側工業省(Ministry of Industry)及び鉱山公社(National Office of Mines)は調査の実施細目を定めこれに調印した。

本調査は調印された実施細則と実施細目に基づき、資源開発協力基礎調査クリブ-メジェズ・エルバブ地域の第1年次として実施されたものである。

本調査はクリブ-メジェズ・エルバブ地域において、地質状況及び鉱床賦存状況を解明し、新鉱床を発見することを目的とすると同時に、調査全般を通じて相手国機関に技術移転を図ることを目的とする。

1.2 調査の概要

1.2.1 調査地域

本調査地域は北緯36°10′～36°39′，東経9°03′～9°43′の間を占め、チュニジア共和国の北部、首都テュニスの南西方に位置している(図1)。調査面積の合計は550km²である。

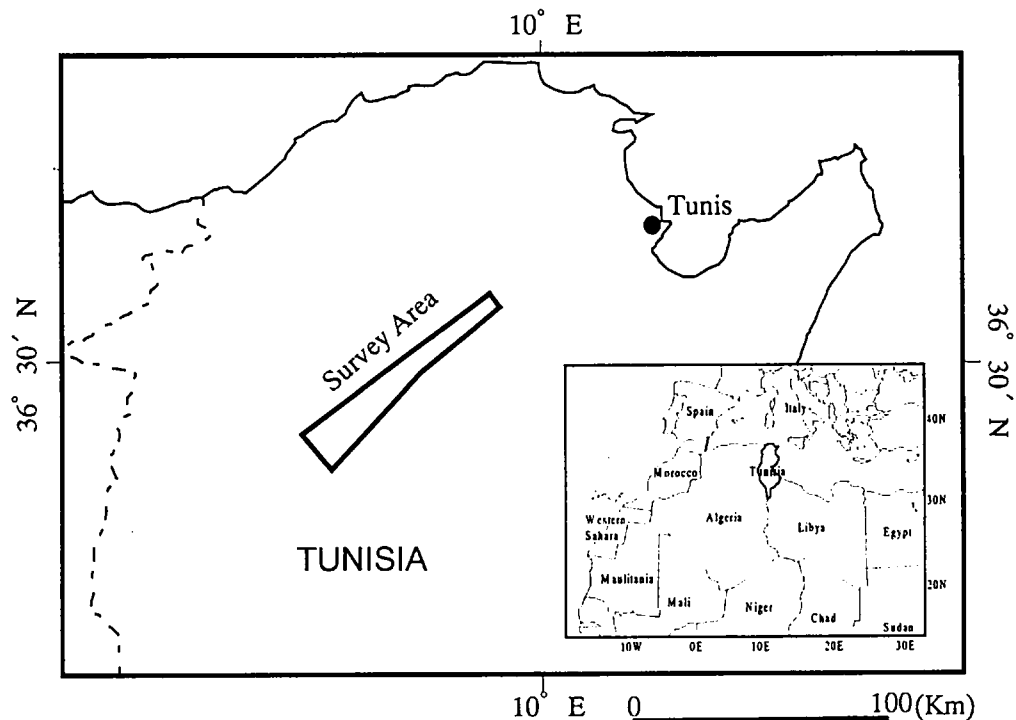


図1 調査地域位置図

1.2.2 調査内容

調査内容及び調査量を表1に、室内試験項目及び件数を表2に示す。

表1 調査内容及び調査量

調 査 内 容	調 査 量	
ランドサットTM画像解析	調査面積	550km ²
JERS-1 SAR画像解析	調査面積	550km ²
写真地質解析 (フキル地区, ラクワット-アルグフ・アダマ地区 バジナ・ケビラ地区, ウエド・ジェブス地区)	調査面積	100km ²
地質調査 (フキル地区, ラクワット-アルグフ・アダマ地区 バジナ・ケビラ地区, ウエド・ジェブス地区)	調査面積	100km ²
	踏 査 長	20km
物理探査		
(1)重力法 (フキル地区, ラクワット-アルグフ・アダマ地区)	調査面積	6 km ²
	グリッド	250×250m
	測 点 数	96点
(2)IP法 (フキル地区, ラクワット-アルグフ・アダマ地区)	調査面積	6 km ²
	踏 査 長	18km
	測 点 数	524点
(3)磁気探査法 (ラクワット-アルグフ・アダマ地区)	調査面積	3 km ²
	グリッド	50×250m
	測 点 数	240点

表2 室内試験項目及び件数

室 内 試 験 項 目	件 数	
地質調査		
岩石薄片作成		8件
鉱石研磨片作成		12件
X線回折	鉱物同定+不定方向	8件
化学分析(鉱石)	Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Cd, Mg, Ca, Sr, Ba	20件
物理探査		
(1)重力法		
密度測定		20件
(2)IP法		
比抵抗, 分極率測定		30件
(3)磁気探査法		
自然残留磁気		10件
帯磁率		30件

1.3 調査団の編成

本調査の計画と折衝、現地調査に参加した調査員は次のとおりである。

(1) 調査計画と折衝

(a) 日本側

青木信也（金属鉱業事業団）
山下浩二（国際協力事業団）
藤井昇（金属鉱業事業団）
西川信康（金属鉱業事業団パリ事務所）

(b) テュニジア側

Monsieur Lajimi（チュニジア工業省）
Larbi Cherif（ ” ）
Neila Govngi（ ” ）
Adel Benahmed（チュニジア鉱山公社）
Habib Mahjoubi（ ” ）
Rachid Sahli（ ” ）

(2) 現地調査

(a) 日本側

武山 真 団長・総括（住鉱コンサルタント株式会社）
千葉 昭彦 物理探査（ ” ）
小沼 工 物理探査（ ” ）
松本 陽 物理探査（ ” ）

(b) テュニジア側

Hammami Mongi（チュニジア鉱山公社）
Sellami Ahmed（ ” ）
Arfaoui Mohamed（ ” ）
Djebbi Mongi（ ” ）

(3) 現地指導監督

平井浩二（金属鉱業事業団）

1.4 調査期間

平成12年2月7日から平成12年3月17日まで現地調査を行い、平成12年3月18日から平成12年3月24日まで報告書の作成を行った。

第2章 調査地域の地理

2.1 位置及び交通

本調査地域は北緯36' 10' ~36' 39' , 東経9' 03' ~9' 43' の間を占め, テュニジア共和国北部, 首都テュニスの南西方に位置する。本年度の調査はテュニスの南西方約90kmに位置するGafourを調査基地として行われた。GafourへはテュニスからGoubellatを経てGafourに至る国道5号線及びその幹線道路が通っており, 車で1時間半を要する。

Gafourから各調査地区へはいずれも幹線道路が通じており, Gafour西方約20kmのプキル地区へは車で20分, Gafour南西方約10kmのラクワット-アルグブ・アダマ地区へは車で15分, Gafour北方約5kmのバジナ・ケビラ地区へは車で15分及びGafour北東方約40kmのウェド・ジェブス地区へは車で45分を要する(クリブ-メジェズ・エルバブ地域位置図参照)。

2.2 地形及び水系

本調査地域は三疊紀~白亜紀の岩石からなる山地又は丘陵部分と, 平坦な低地からなり, 山陵部は河川を境界として, Jebel Ech Chied, Jebel Bou Khil及びJebel Mourraに区分できる。本調査地域内の山稜は標高400~750mの範囲にあり, 北東-南西に連なり, 200~550mの起伏をもつ。本調査地域内の最高峰は地域中央部の南西縁にあるJebel Ech Chiedの三角点で標高764mである。山地の山麓部には崖錐・崩積堆積物が, 低地には沖積層が分布する。

本調査地域内の主な河川はOued Silyana, Oued Khallau, Oued Malahなどで, 各河川はしばしば顕著な蛇行流路を示す。Oued Silyanaは調査地域内を6km以上北流した後, 流路を西に変え, 調査地域を経てOued Madjerdaに合流する。Oued KhallauはJebel Ech Chiedに沿って南西から北東へ流下しOued Madjerdaに合流する。Oued MalahはJebel Bou Khilに沿って北西から南西へ流下する。

2.3 気候及び植生

テュニジア共和国の国土は北部のテル・アトラス地方, 北西部の脊梁山脈地方, 東部のステップ地帯及び南部の砂漠地方の四つに分けられる。本調査地域は北部のテル・アトラス地方に属し, 小高い丘に覆われた緑の多い山稜地帯となっている。気候は夏季に高温で乾燥が激しく, 冬季は温暖で湿潤な地中海性気候に属し, 年間400mmを超える規則的な降雨がある。それぞれの季節の平均気温はテュニスで春24℃, 夏30℃, 秋25℃, 冬16℃である。テュニスにおける気象データを表3に示す。

本調査地域の植生は冬雨地帯に特有な常緑広葉樹林で特徴づけられる。常緑広葉樹林では, 個々の樹木は1~2週間落葉することがあるが, 樹林全体が一度に落葉することはない。調査地域全体に植生が発達するが, 休止鉾山周辺では減少している。このため, 休止鉾山周辺では, 植林

が積極的に行われている。

表3 テュニスの気象データ

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月平均気温(°C)	11.4	11.8	13.2	15.4	19.1	22.9	26.3	26.6	24.1	20.1	15.8	12.4
月平均降雨量(mm)	56.4	59.0	45.3	38.2	24.3	10.7	2.4	6.3	35.3	69.8	57.8	61.9

(理科年表1997)

第3章 調査地域の地質背景

3.1 テュニジア共和国の一般地質

3.1.1 地質及び地質構造

チュニジアの地質構造は大きく北部と南部に二分される。北部はモロッコとアルジェリア北端に連なるアトラス山脈の東端に位置し、アルプス造山帯(アトラス帯)に属しており、中生界及び新生界が分布する。南部は北アフリカに広がるサハラ砂漠の北端に位置し、新生界、中生界及び古生界が分布する。

チュニジア南部ではサハラ砂漠を形成する風成砂丘などの陸成堆積物及び陸成の第三系が広く被覆し、中生界及び古生界は局所的に露出する。古生界はアフリカ北部に広範囲に分布する陸成ないし浅海成の楯状地堆積物、中生界は以下に述べるチュニジア北部と同様の堆積岩類である。

チュニジア北部では主に堆積岩からなる中生界と新生界が広く分布し、これらは層序的に連続する。中生界及び新生界の地質構造は北東-南西系の大構造を示し、いくつかの構造帯に区分される。構造帯は北西側から順に、ナップ帯、ドーム帯、トラフ帯、N-S軸帯、東プラットフォーム帯に区分される(Orgeval, 1994)。チュニジア共和国北部の地質図を図2、地質構造区分図を図3に示す。

チュニジア北部の中生界は三畳系(ドロマイト、マール、泥岩、砂岩、石灰岩、粘土、石膏、岩塩)、ジュラ系(石灰岩、ドロマイト、マール、泥岩、砂岩)、白亜系(石灰岩、マール、泥岩、砂岩、ドロマイト)からなる。白亜系は北部の全域に分布するが、三畳系はあるゾーンにまとまって分布し、ジュラ系は局所的に分布する。火成岩は非常に少なく、チュニジア最北端に相当し地中海にあるGalite島を形成する花崗岩質岩、北端のナップ帯に小規模に分布する新第三紀の玄武岩がある。

三畳系はチュニスから南西に伸びるドーム帯に主に分布する。三畳系は蒸発岩ダイアピルないしドームを形成し、北東-南西方向に断続的に配列する。各岩体とも北東-南西方向に伸長する形状を示す。ジュラ系は小規模に窓状に点在しており、チュニスの南方において、ほぼ南北方向に伸びるN-S軸帯に多く分布し、ドーム帯にはほとんど分布しない。白亜系はドーム帯とトラフ帯に広く分布する。白亜系の堆積構造は三畳系のダイアピル貫入により乱されているが、主要な走向方向は三畳系の分布構造に平行する北東-南西系である。中生界にみられる衝上断層や褶曲などの大構造は北東-南西系であり、断層系の断裂構造は北西-南東系が卓越する。

新生界は古第三系(暁新統、始新統、漸新統)、新第三系(中新統、鮮新統)、第四系の堆積岩類からなる。第三系は北端部のナップ帯ではフリッシュ性の堆積物(マール、泥岩、石灰岩、砂岩)を主体とし、ドーム帯及びトラフ帯では石灰岩、泥岩、砂岩、マール及び陸成の砂岩からなる。第三系の地質構造はナップ帯では衝上断層や褶曲などが複合した複雑な構造を呈し、ドーム帯で

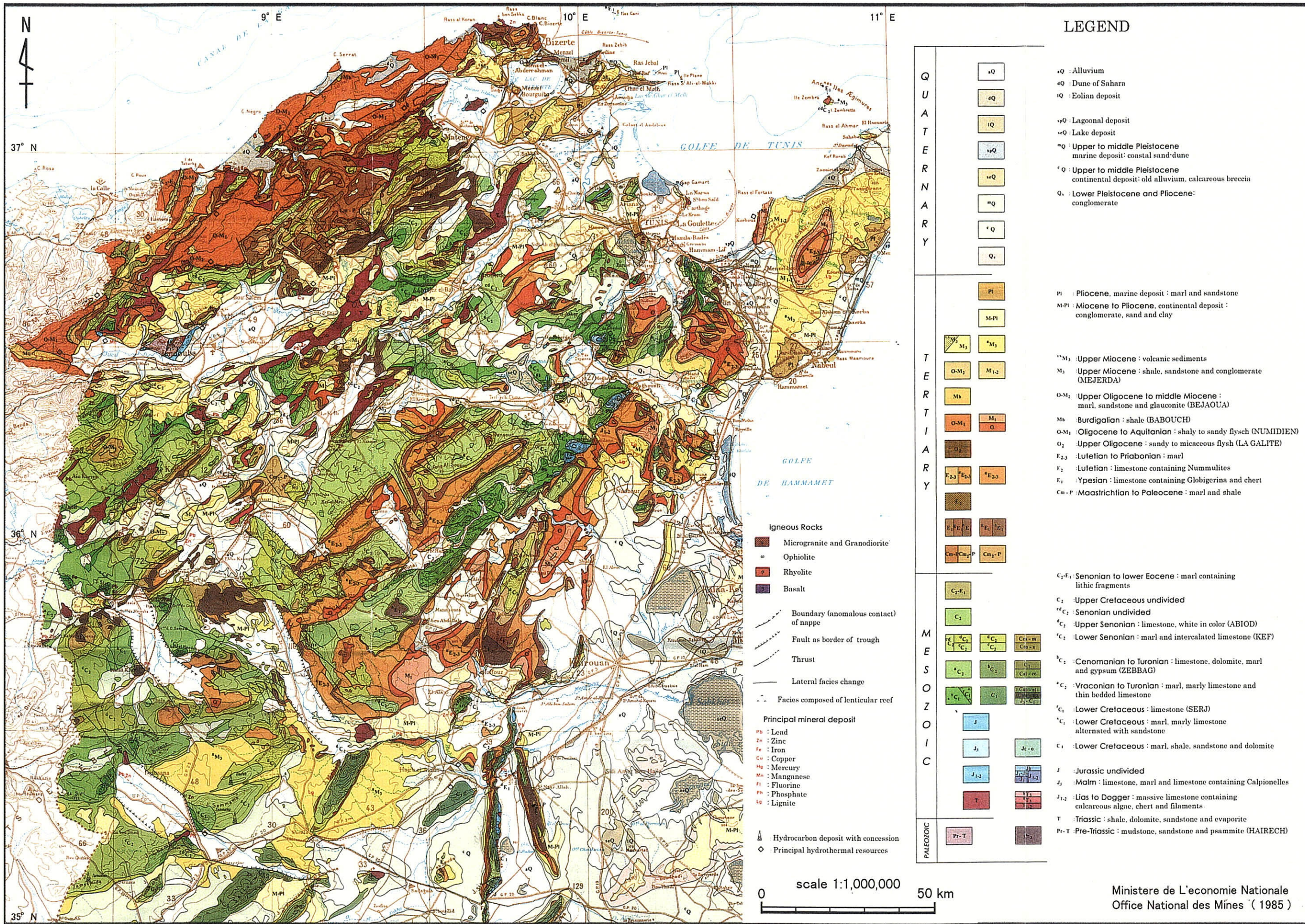
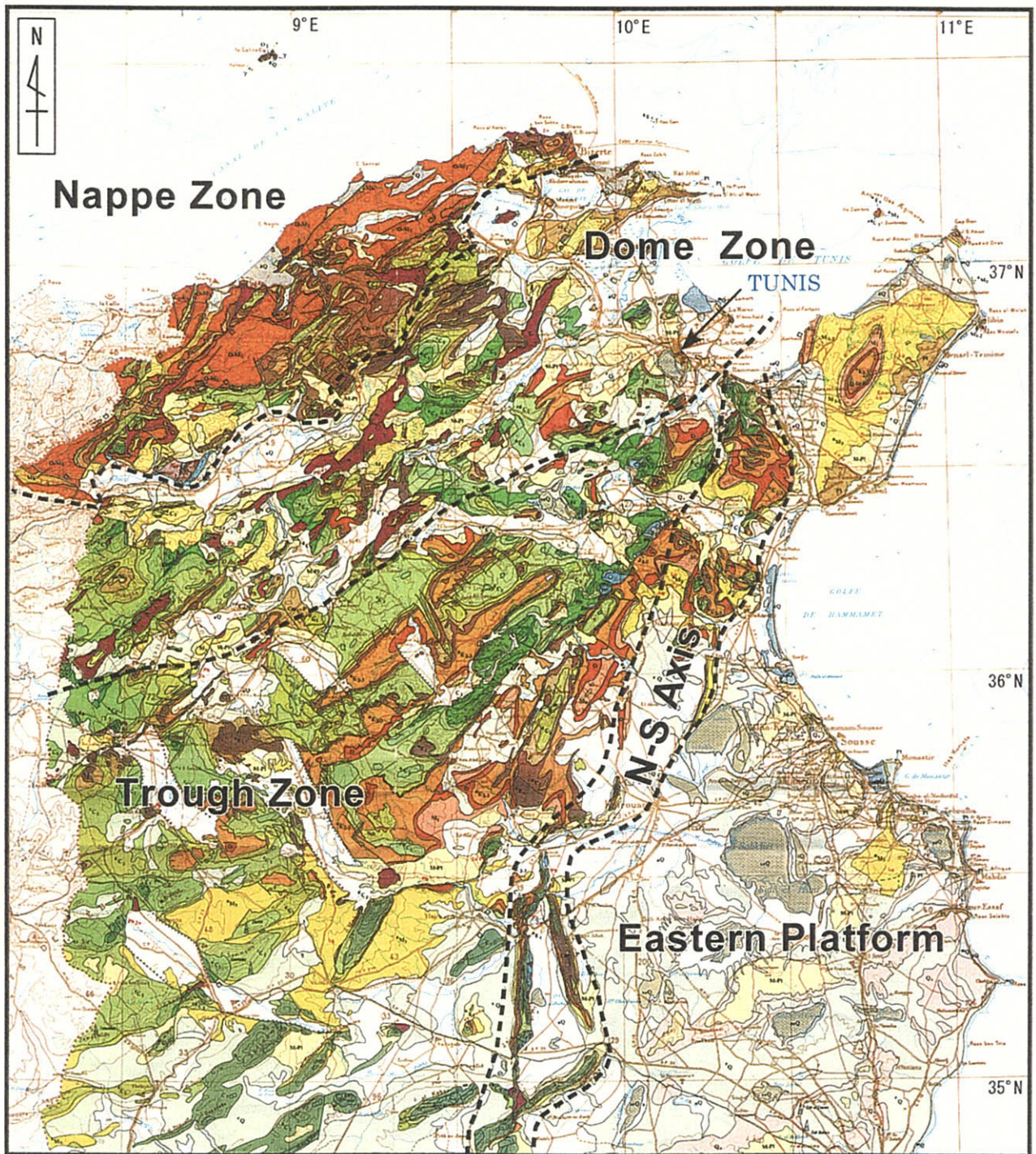


图2 テュニジア共和国北部の地質図



Structural division simplified is quoted from J.J. Orgeval (1994).

Geological base map is published in 1985 by Ministère de L'économie Nationale. (Legend of the map is shown in Figure 2)

図3 テュニジア共和国北部の地質構造区分図

は三畳系のダイアピル貫入により乱されている。ドーム帯における第三系の地質構造は白亜系の地質構造と同様に、北東-南西系の走向と北西-南東系の断裂が主体である。第四系は礫岩、陸成砂岩、砂丘、沖積層、崖錐性堆積物などからなる。

チュニジアに存在する金属鉱床は鉛亜鉛鉱床が圧倒的に多く、このほかに銅、鉄、水銀鉱床などがある。非金属鉱床としては磷酸塩、螢石鉱床などが知られている。鉛亜鉛鉱床はチュニジア北部のドーム帯を中心に数多く分布する。これらの鉱床は三畳系のダイアピルと白亜系又は第三系の接触部付近に形成されており、ミシシッピバレータイプの鉱床と考えられている。

銅、水銀鉱床は主にナップ帯に存在する花崗岩質岩、三畳系及び第三紀火成岩に関連して形成されたものである。磷酸塩鉱床は白亜紀～始新世の海成堆積鉱床で、チュニジア中部に分布する。

3.1.2 地 史

チュニジア南部では、古生代には、安定した先カンブリア楕状地を覆い楕状地堆積物が堆積した。この楕状地堆積物はアルジェリアではカンブリア-オルドビス系と石炭系の海成層、リビアでは同時代の陸成砂岩と海成層の互層からなる。これらの古生界は規模の大きな堆積盆に堆積したもので、古生代後期のパリスカン造山の影響を受け緩やかに褶曲するが、堆積構造はあまり乱れておらず、水平に近い傾斜を示す。

チュニジア北部を含む北アフリカのアトラス帯では、中生代三畳紀には、大陸的な環境下で陸成層がその沈降域に堆積した。ジュラ紀には、ただ一つの超大陸パンゲアにまとまっていた地球上のすべての陸地は南北に分裂をはじめ、北側のユーラシア大陸と南側の Gondwana 大陸となり、大陸の間にテチス海と呼ばれる海が形成された。

アトラス帯は Gondwana 大陸の縁辺部に相当し、テチス海の大規模な侵入により、石灰岩相に富む海成層が厚く堆積した。その中心部ではジュラ紀中期に海退が始まり、白亜紀には造構運動が始まった。

テチス海の高潮に伴い形成された浅海成堆積物は第三紀始新世まで広範囲に堆積したが、白亜紀ではアフリカ大陸がユーラシア大陸の方へ移動し始め、アルプス造山を生じた。この造構運動は第三紀漸新世に最盛期となり、アトラス帯では北上するアフリカ大陸による広域的な変動を受け、著しい褶曲や衝上断層などがみられる。さらに、漸新世初期と中新世末期にはアトラス帯北部に北方から供給された多数のナップ群が形成された。

現在のような高いアトラス山脈が形成されたのは鮮新世以降である。アトラス帯に非常に特徴的な地質構造である蒸発岩のダイアピルは三畳系の岩塩及び石膏層によって形成されたもので、ダイアピリズムは白亜紀中期に始まりアルプス変動の影響を受けながら第四紀まで続いた。このダイアピル構造に伴い数多くの鉛亜鉛鉱床が形成された。

3.2 クリブ-メジェズ・エルバブ地域の一般地質

クリブ-メジェズ・エルバブ地域はチュニスから南西に伸びるドーム帯に位置する。ドーム帯は幅50km前後、延長約200kmで北東-南西方向に延びており、北東側は地中海に没し、南西側はアルジェリアに連続する。ドーム帯には三畳系ダイアピルが北東-南西方向に断続的に分布し、大局的に3~4列のダイアピル列が存在する。本地域はその中のもっとも南東側の列に相当し、ドーム帯南東縁のほぼ中央に位置する。

本地域の地質層序は下位から三畳系、白亜系、古第三系、新第三系及び第四系である。三畳系はダイアピルを形成しており、ダイアピリズムの結果、白亜系~新第三系の地層と貫入関係で接触しており、ときにこれらを覆うこともある。本地域の地質概略図及び地質断面概略図をPlate 1に示す。

三畳系は石膏、粘土、ドロマイト、泥岩、砂岩、石灰岩からなる。三畳系は全般に不均質で、堆積構造は乱れていることが多い。ジュラ系は地表には分布しない。白亜系は白亜紀前期のパレミアン階から最末期のマーストリヒチアン階までが層序的に連続する。それらは石灰岩、泥岩、マール、砂岩、ドロマイトからなる。白亜系の一般的な走向は北東-南西系であるが、三畳系の末端部周辺ではダイアピルや断層の構造によって乱される。第三系は暁新統、始新統、漸新統、中新統、鮮新統が整合的に連続する。暁新統は泥岩、始新統は礫岩及び石灰岩、漸新統は砂岩、中新統は砂岩、鮮新統は砂岩からなる。第三系の一般的な走向は白亜系と同様の北東-南西系であるが、ダイアピルや堆積盆の構造に支配される。三畳系ダイアピルに貫かれてこの近傍に分布する白亜系及び第三系の地層はめくれ上がり、逆転層ないし垂直層となっていることが多い。第四系は砂岩、礫岩、沖積層、崖錐性堆積物などからなる。

本地域には規模の大きな3つのダイアピル岩体が存在し、これらは北東側から順にJebel El Mourra, Jebel Ech Cheid, Jebel Bou Khilと呼ばれている。このほか、これらの岩体の周囲には小規模なダイアピル岩体がいくつか分布している。ほとんどのダイアピルは北東-南西方向に伸長した形状を呈する。これらの三畳系ダイアピルと接する地層及びダイアピルの周囲には、多くの鉛垂鉛鋳床・鋳徴地が存在する。ほとんどの鉛垂鉛鋳床はダイアピルの南東側及びダイアピルの先端部に賦存しており、その分布には鋳床の偏在性が認められる。この3つのダイアピル岩体の概要を以下に示す。

Jebel El Mourra岩体 ; 5 km × 3 kmの角の取れた長方形を呈する。その断面はキノコ状を呈する。岩体南東側は主に白亜系と接するが、一部では始新統及び漸新統と接する。これ以外の部分は第四系に覆われている。岩体南東側にはKef Lasfar鋳徴地とOued Jebes鋳徴地が存在する。

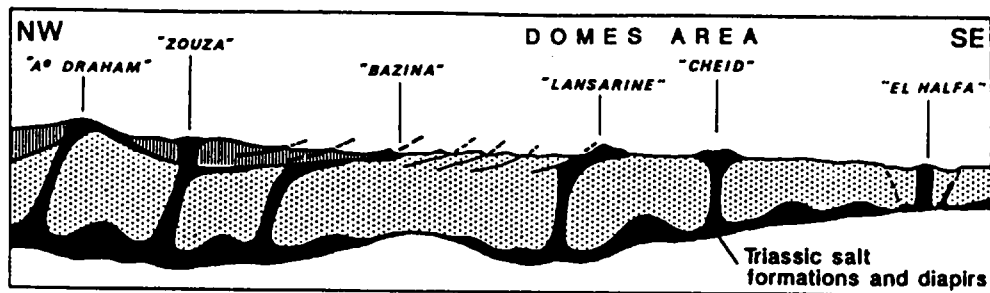
Jebel Ech Cheid岩体 ; 23 km × 5 kmの羽根状で、その断面はキノコ状を呈する。岩体南西部は白亜系と北東部は始新統、漸新統及び中新統と接する傾向がある。岩体中央では、岩体頂部に漸新統と中新統のルフペンダントが存在する。岩体南東側一帯には、Koudiat Tlilet, H' Zamel Assoued, Argoub Adhama, Koudiat Soda, Koudiat Safra, Bazina Kebiraなど、南端にはEl Ak-

houatの多くの鉱床・鉱徴が存在する。

Jebel EL Bou Khil岩体；7 km×3 kmの弧状を呈する。岩体南東側は白亜系，漸新統及び鮮新統と接しており，北西側は白亜系に覆われる。岩体南東中央にはBou Khil鉱床，岩体北東端にはJebel Ouiba鉱徴地が存在する。

なお，調査範囲外であるが，Bou Khil岩体の北西方約10kmにはFedj El Adoum岩体があり，現在チュニジアで稼行中の2つの鉛亜鉛鉱山のうちの1つであるFedj El Adoum鉱山が位置している。

ナップ帯からドーム帯を横切り三畳系ダイアピルの模式的な構造を表した断面を図4に示す。ダイアピルは様々な規模と形態をもち，活動時期も一様ではないが，ドーム帯における大局的なダイアピリズムはOrgeval(1994)によって以下のように考えられる。



Simplified cross section, from the Nappe zone to central Tunisia, showing the distribution of Triassic structures and the progressive dying out of the tangential tectonics from northwest to southeast. The Domes area corresponds to the Lansarine and Cheid diapirs. (After Perthuisot 1978)

図4 ダイアピル構造の模式的な断面(J. J. Orgeval, 1994)

白亜紀中期に始まった初期のダイアピリズムは，白亜系の堆積に従い生じた三畳系と白亜系の密度差に伴う三畳系の上昇運動である。ドーム帯では，白亜紀前期には北東-南西方向に卓越する堆積盆が形成されており，初期のダイアピリズムはすでにこの構造に支配されていたと考えられる。白亜紀後期には構造運動の影響を受けつつダイアピリズムは進行し，白亜紀末期には現在のようなダイアピル岩体の基礎が形成された。ダイアピルの発達に伴い，白亜系の層厚はダイアピルの周囲では薄く，ダイアピルより離れるに従い厚くなった。白亜紀のいくつかの段階で白亜系を突き抜けて地表あるいは海底に出現したダイアピルも存在した。古第三紀にアルプス造山が始まり，新第三紀鮮新世にダイアピリズムは最も活発となった。新第三紀のダイアピリズムは南北方向の圧縮応力場における衝上断層や褶曲の影響を受けやや複雑な運動となり，ダイアピルの形状は単純で対称形のドーム状やキノコ状ではなく，非対称形や折り曲げられた形状に進展したと考えられる。

本地域の鉛亜鉛鉱床はミシシッピバレー型又はCarbonate-hosted型とされており，白亜系の堆積盆中の層間水が堆積岩中の鉛亜鉛を溶解して，堆積構造に沿い側方移動し，ダイアピルに沿い

上昇した結果、ダイアピル周囲の断裂や層準に規制されて鉱床が形成されたと考えられている。ダイアピルは北東-南西方向に配列し、かつ同方向に伸張するが、鉛垂鉛鉱床はダイアピルの南東側(図4では右側)に偏在する。この原因として、ダイアピルに貫かれる白亜系及び第三系の地層はダイアピルの南東側で逆転層を形成することが多いため小さな断裂が発達していることが考えられる。また、白亜系の堆積盆の地質構造上、ダイアピル南東側で鉱液が上昇しやすく、かつ鉛垂鉛が晶出しやすい温度圧力条件が存在すると推定される。