

(2) Tiris

Tiris 鉄鉱層群を構成する El Rhein, El Aouj および Atomai 鉱床は、Zouerate 市からそれぞれ北東約 25km、北西約 40km、西約 40km に位置している(図 4.2.5)。

(a) El Rhein 鉱床

本鉱床は磁鉄鉱鉱床であり、Zouerate 市の北東約 25km に位置する。鉱床周辺の地質は、Tiris 層群の変鉄質珪岩、変非鉄質珪岩、片麻岩、レプチナイト、角閃岩からなる。変鉄質珪岩などは高さ 100-200m、延長 5-10km、幅 2-3km の台地状地形をなして露出する。鉱体は変鉄質珪岩、レプチナイト中の粗粒磁鉄鉱濃集部で、層厚約 100m、南北延長約 1.2km であり、平均品位は Fe 37% である。鉱体は N-S 褶曲軸を有した折りたたみ褶曲構造を示す。南北 1.5km、東西 1km の範囲で 3 つの褶曲が認められる。

磁鉄鉱鉱石は石英を主とし、粗粒(最大粒径約 3mm)の磁鉄鉱が鉱染状に産する。鏡下では石英、磁鉄鉱の他に赤鉄鉱、針鉄鉱を伴う(巻末資料 I の 2.3)。

本鉱床近傍でのレプチナイトでのカリ長石と全岩の絶対年代測定(K-Ar)は、ともに 1480 ± 40Ma(原生代 Riphean)を示した。変成作用の終了年代を示唆している(巻末資料 I の 2.6)。

(b) El Aouj (Central) 鉱床

本鉱床も磁鉄鉱鉱床であり、Zouerate 市の北西約 40km に位置する。鉱床周辺は Tiris 層群の変鉄質珪岩、変白色珪岩、レプチナイト、角閃岩から構成されている。鉱体は主に変鉄質珪岩、一部はレプチナイトを母岩とする粗粒磁鉄鉱鉱体である。変鉄質珪岩は NE-SW 方向に軸を有する向斜構造を呈し、南北 4km、東西 1km の範囲に分布する。

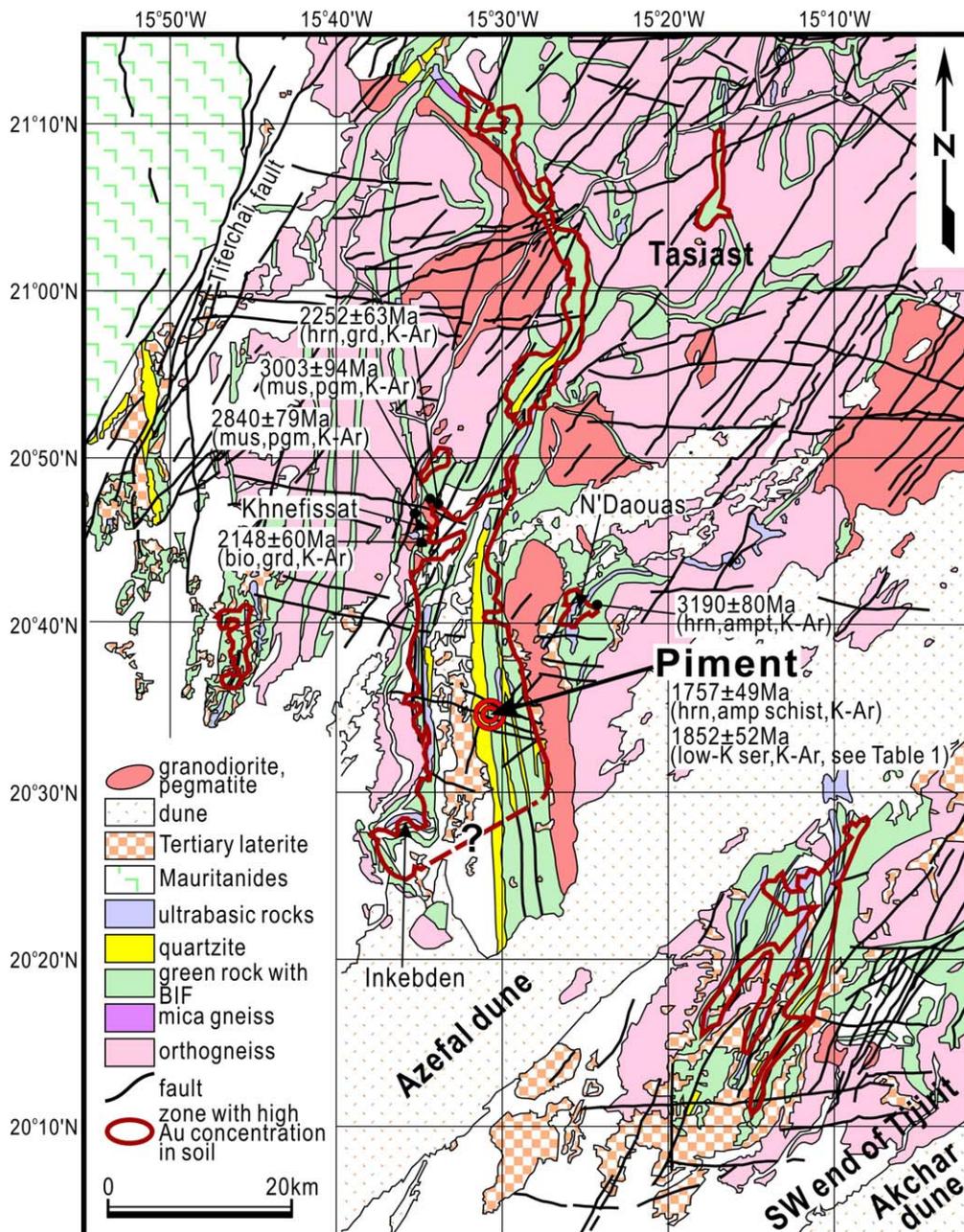
(c) Atomai 鉱床

本鉱床も磁鉄鉱鉱床であり、Zouerate 市の西約 35km に位置する。鉱床周辺は Tiris 層群の変鉄質珪岩、変白色珪岩、レプチナイトからなり、局所的にアプライトが貫入する。鉱体は変鉄質珪岩中の粗粒磁鉄鉱鉱体である。変鉄質珪岩は全体として東西走向、北に急傾斜を示し、総延長 8km、幅 0.5km の範囲に露出している。

(3) Tasiast

(a) 地質

本地域は始生界から構成され、花崗岩-片麻岩帯とグリーンストーン帯からなる。花崗岩-片麻岩帯はトーナル岩-花崗閃緑岩系岩石、ミグマタイト質片麻岩、花崗閃緑岩質ミグマタイトおよび小規模に貫入しているペグマタイトから構成される。グリーンストーン帯は橄欖岩、蛇紋岩、角閃岩などのグリーンストーンと、珪岩、苦鉄質片岩で構成される(図 4.3.2)。グリーンストーン帯の分布は幅 5km、延長 80km 以上と狭長で、N-S ないし NNE-SSW 方向に伸長し、帯を形成する。グリーンストーン中に縞状磁鉄鉱層を含む。グリーンストーンを構成する岩石の片理や磁鉄鉱層の葉理は、グリーンストーン帯全体の方向と調和し、傾斜は東または西に 60-80° を示す。



(modified Artignan et al., 2000)

図 4.3.2 Tasiast 地域広域地質図

(b) 鉱床

本地域の金鉱床は、グリーンストーンに伴われる縞状磁鉄鉱層中に賦存している。セリサイト、カオリナイトで特徴づけられる熱水変質を伴って発達する(図 4.3.3)。熱水変質は少なくとも東西 200m、南北約 1km の広い範囲にわたり認められる。金鉱化作用は熱水変質ゾーンに様々な産状で認められる。その産状は含金石英細脈(脈幅 0.3-0.5cm)、含金石英網状および鉱染状である。鉱染は含金石英粒として産し、まれに金粒として認められる。現在確認されている金高品位部は、Piment 地区に発達する。

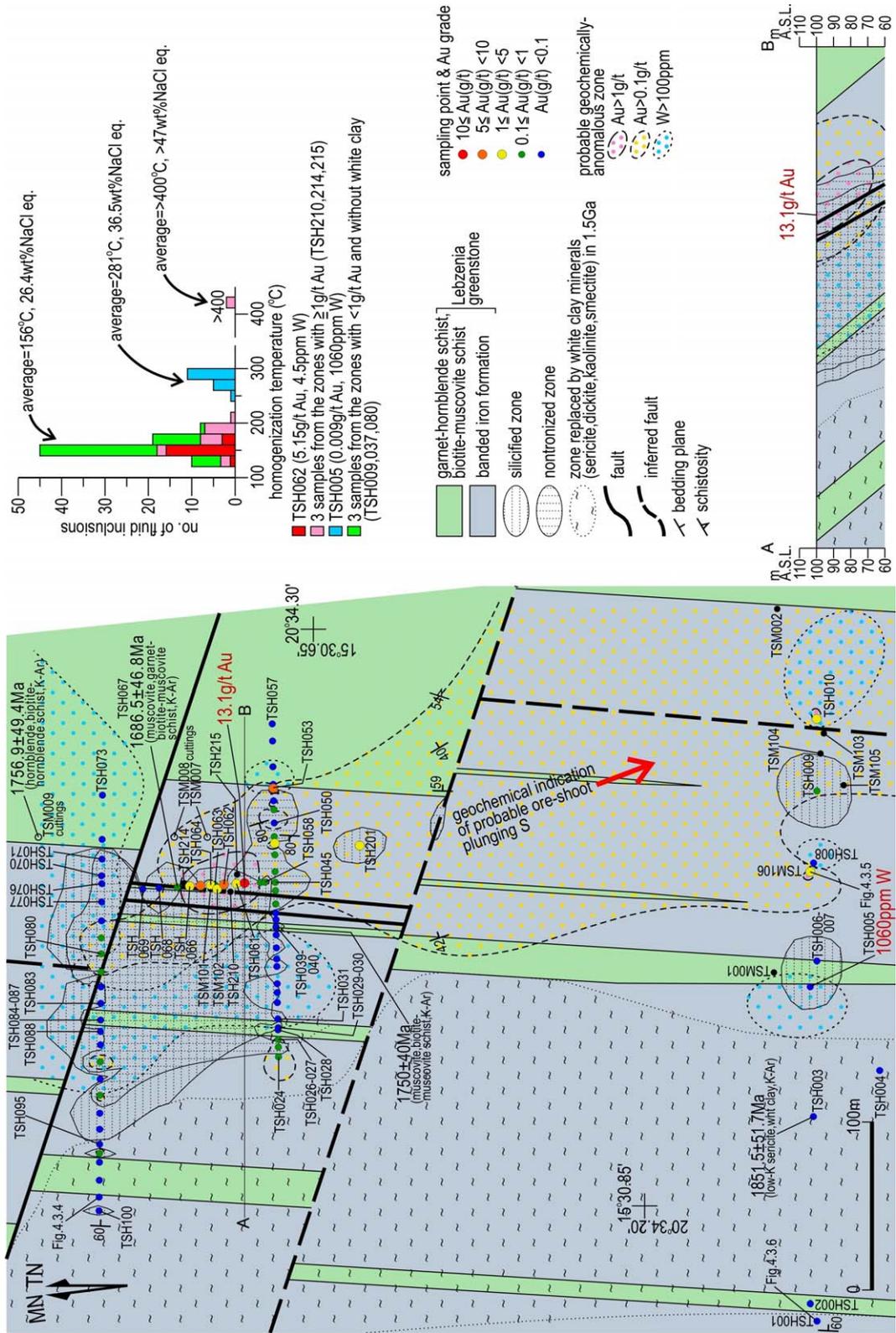


図 4.3.3 Tasiast Piment 鉱床地質図および地化学異常図

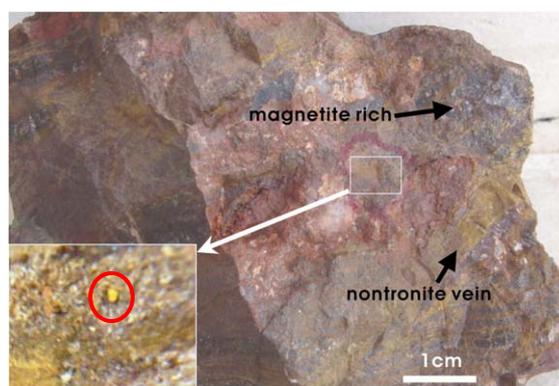
本地区には、上述のグリーンストーン帯を構成する岩石のほか、緑泥石-白雲母片岩が広く分布する。これら片岩中が発達する南北約 30km、東西約 5km の範囲では、片岩と調和的に縞状磁鉄鉱層が幅約 400m で分布し、縞状磁鉄鉱層が 2 あるいは 3 層胚胎している。

縞状磁鉄鉱層は粒径 0.5mm 以下の磁鉄鉱、赤鉄鉱、針鉄鉱と石英からなり、酸化鉄鉱物と石英は 0.5-1cm の幅で縞状構造を形成している。Piment 地区の縞状磁鉄鉱層とその周辺の緑泥石片岩は変質作用を受けており、金鉱化作用が発達するところでは特に変質は著しい。少なくとも東西 0.2km、南北 1km に及んで、珪化、ノントロナイト化、白色粘土化(デッカイト化、セリサイト化、スメクタイト化、カオリナイト化)などの変質を被っている(図 4.3.4, 図 4.3.5)。またこの著しく変質の発達した箇所では、幅数 cm の石英細脈が数多く縞状磁鉄鉱層中に観察される。



BIF replaced almost entirely by white clay
TSH099 location:20°34.365'N,15°30.847'W

図 4.3.4 白色粘土化鉄鉱層



TSM106 Location: 20 ° 34.150N, 15 ° 30.734W

図 4.3.5 磁鉄鉱に富む BIF を切る黄色ノントロナイト脈
と自然金(左下：拡大部)

Piment 地区頂部の縞状磁鉄鉱層露頭には、海底地滑り構造とみられる乱堆積構造(破断、角礫状を含む)が観察された(図 4.3.6)。これは、縞状磁鉄鉱層堆積時、未～固結状態の堆積物が移動し、破損するような海底下の活動があったことを示唆している。



BIF disturbed by an oceanic slide
TSH001 location: 20°34.148'N, 15°30.890'W

図 4.3.6 海底地滑り(?)構造による乱堆積構造

金鉱化作用は N-S 方向に沿って帯状に発達し、2 列平行して認められる。東列は走向方向に 4.5km 以上連続し、西列は走向方向に 2km 以上連続する。東列は”Piment Central 帯”と呼ばれる主鉱体と 3 つの小鉱体(Piment Central 延長部、Piment 南および Piment 北)からなる。鉱化帯は傾斜 45-70° E を示し、鉱体のプランジは南に約 30° である。鉱化帯の幅は 5-30m で、20-25m は強い鉱化を受けている。ボーリングの結果から、高品位部は地表から垂直深度 300m まで及んでいる。地表から 40m までの深さの岩石は酸化作用を受けている。西列の金品位は低い(Rio Narcea Gold Mines, 2005)。

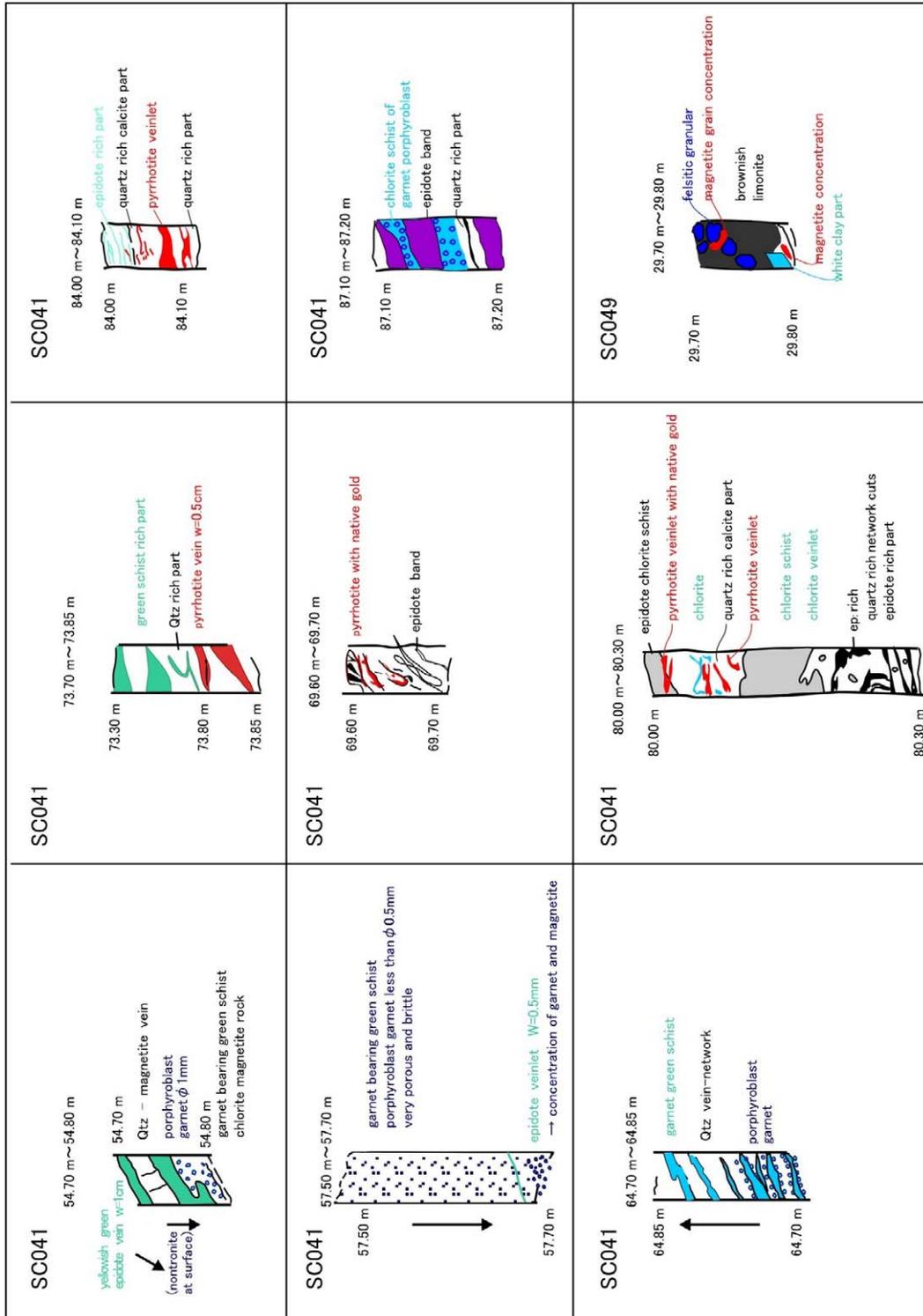
ボーリングコアでは角閃石片岩中に、粒径 1-10mm のザクロ石の斑状変晶がしばしば認められる(図 4.3.7)。また幅 2-3mm の磁鉄鉱ラミナをもつ、石英-磁鉄鉱からなる磁鉄鉱層が発達する。緑泥石片岩および磁鉄鉱層中には、磁硫鉄鉱が鉱染状あるいは細脈状に産する。磁硫鉄鉱にはしばしば自然金が肉眼で認められる。コアの鉱化部のスケッチを図 4.3.8 に示す。



SC044 76m

Location of SC044: Y=13220, X=2440

図 4.3.7 ザクロ石の斑状変晶を伴う緑泥石-角閃石のバンド中に磁硫鉄鉱と共存する自然金



Location of SC041: Y=13345, X=2412

SC049: Y=13995, X=2380

図 4.3.8 Tasiast Piment のコアの鉱化部の産状

(c) 室内試験結果

【岩石・鉱石地化学分析】

地化学探査試料の化学分析値の初等統計値および主成分分析の因子負荷量行列をインテリムレポートの巻末資料 I に示す。この表の第 2 主成分には、Au と正の相関を持つ元素として Ag, Fe, Ge, Sb が抽出された。地化学異常図を作成し、図 4.3.3 の地化学異常図には Au >1g/t、Sb >1ppm、W >100ppm の異常域を示した。

Au は、最大 13.1ppm、Au 1ppm 以上の試料は 9 であった。これらの採取位置は地域中央北部の珪化または珪化—ノントロナイト化変質域に集中していることが判明した。W は、最大 1,060ppm、W 100ppm 以上の試料は 38 であった。これらの採取位置は、本地区中央北部—中央北端分の珪化または珪化—ノントロナイト化変質帯中に集中している。

本地区西端部の白色粘土化帯からは、ディカイト、カオリナイト、スメクタイトなどの粘土鉱物が同定された(巻末資料 I の 2.4)。磁鉄鉱層あるいは変質作用を受けた磁鉄鉱層の中には、珪質ラミナ部/ブロック部に、顕微鏡下で破碎変形を示すものが認められた。

【流体包有物試験】

磁鉄鉱層の珪化部や石英網状脈の石英中には流体包有物が鏡下で数多く観察され、それらは多相包有物、気相包有物および液相包有物からなる。NaCl の結晶を含む多相包有物の温度測定の結果は、2 つに区分された。第 1 グループは均質化温度 250-290°C、塩濃度 34-37wt% NaCl eq. である。第 2 グループは、第 1 グループより低温、低塩濃度で、均質化温度範囲が 120-190°C、塩濃度 28-30wt% NaCl eq. である(インテリムレポート巻末資料 D)。第 1 グループ流体包有物を示した珪化磁鉄鉱層は、タングステン地化探異常域にある。一方、第 2 グループ流体包有物の珪化磁鉄鉱層は金異常域の中あるいは近傍である。

【年代測定】

Piment 地区の北東約 17km に位置する標高 200m の Ndaouas 山から採取した変角閃岩の角閃石および全岩に対して年代測定(K-Ar)を実施した(巻末資料 I の 2.7)。年代値は各々 3190±80Ma と 3080±80Ma を示した(巻末資料 I の 2.6)。始生代 Swazian に相当し、変成作用の終了年代を示唆している。

K-Ar 年代測定を実施したペグマタイト中の白雲母試料は、K 溶脱が認められる 1 試料を除いて、2 試料がほぼ同じ年代値を示した(巻末資料 I の 2.6)。測定誤差範囲内で、両者の年代値が重複するのは、2919-2909Ma である。K 溶脱がみられる試料の実際の年代が、2914Ma(前記の中央値)とすると、K 溶脱により 29%古い年代が得られていることとなる。

花崗閃緑岩 2 試料の K-Ar 年代値は、ほぼ同じである(巻末資料 I の 2.6)。測定誤差範囲内で、両者の年代値が重複するのは、2207-2189Ma である。上記のペグマタイトの K-Ar 年代値よりも明らかに若く、少なくとも 2 つの中性—酸性火成活動があったことを示している。

Piment 産の白雲母片岩、角閃石片岩の K-Ar 年代測定値は、ほぼ同じ年代を示す(巻末資料 I の 2.6)。測定誤差範囲内で、これら試料の年代値が重複するのは、1733-1710Ma

である。この時期に変成作用が終了したものと考えられる。

(d) 考察

Piment 地区の北西約 40km に位置する Khefissat の片麻岩中のジルコンの年代測定では 2900Ma と 3000Ma が得られ、Khefissat の花崗閃緑岩中のジルコンは、2700-2900Ma の年代が得られている(Charendon, 1997)。

17 億年前の K-Ar 年代を示した白雲母片岩には、肉眼的に鉍化の徴候は見られない。このことから、鉍化作用は早くとも 17 億年以降、すなわち原生代以降の鉍化を意味していると考えられる。

Tasiast 鉍床の鉍化作用の特徴は、母岩、構造地質、変質などとの関係から次のように考察される。

- 磁鉄鉍層中に磁硫鉄鉍からなる硫化鉍物が鉍染状、細脈状に生成している。
- 金の鉍化はザクロ石を生成する高い変成度を示す岩相周辺に磁硫鉄鉍と共に認められる。
- 金鉍化は、磁鉄鉍層の層理面やクラック、断裂や割れ目に沿って認められる。
- 金鉍化は珪化、粘土化などの変質作用を伴う。
- 地表では浅成富化作用によりノントロナイト化、赤鉄鉍化、褐鉄鉍化を受け、これらは主として浅部の磁鉄鉍層中に細脈状、鉍染状に認められる。
- 磁鉄鉍層形成は始生代(30 億年前頃)、金鉍化は原生代(17 億年前)以降である。
- 金鉍化に関与した流体の均質化温度は 120-190°C で、塩濃度は 28-30wt% NaCl eq. である。

【リモートセンシング解析】

Tasiast と Tijirit を含む地域の LANDSAT 画像と、Tasiast 地域の ASTER 画像を図 4.3.9 に示す。Tasiast 地域の ASTER フォールス画像(図 4.3.9 の左下)と比演算処理画像(図 4.3.9 の右下)および Tasiast 地域の広域地質図(図 4.3.2)とを対比すると以下のことが判った。

- BIF を含むグリーンストーン帯は、ASTER 画像の比演算処理(RGB: 4/8, 4/9, 1/3) で濃い青(酸化鉄)で識別され、この比演算は有効である。
- Piment 地区の金鉍化に伴う変質帯は、比演算処理画像で赤(雲母)、緑(粘土鉍物)または黄(雲母および粘土鉍物)で抽出されず、この比演算では良い結果は得られなかった。
- Tasiast 地域と Tijirit 地域を分断している砂丘は、黄緑～黄を呈する。これは砂丘を構成している鉄明礬石によるものと考えられる。

Tasiast 地域のような岩石砂漠では、BIF の識別は上記の比演算処理によって可能であることが判明した。

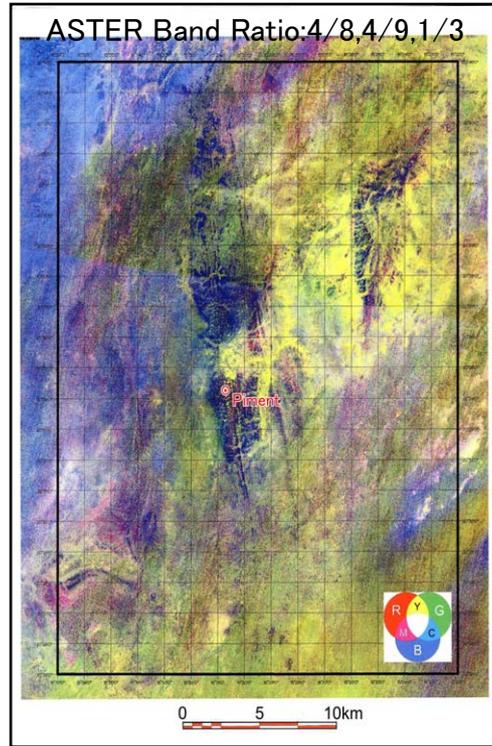
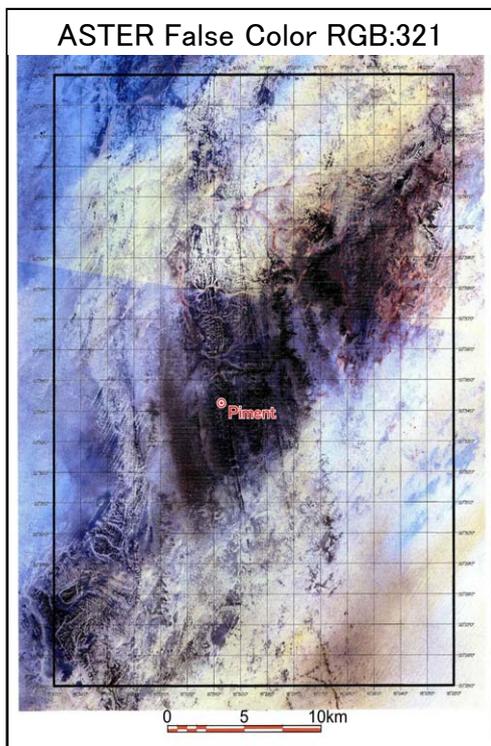
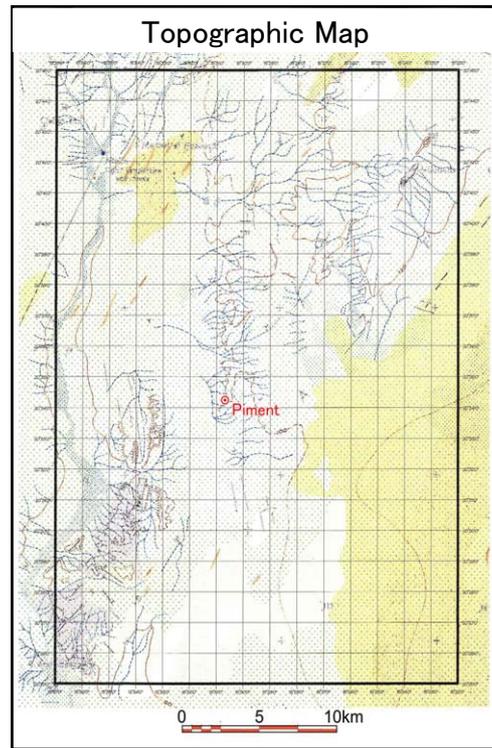
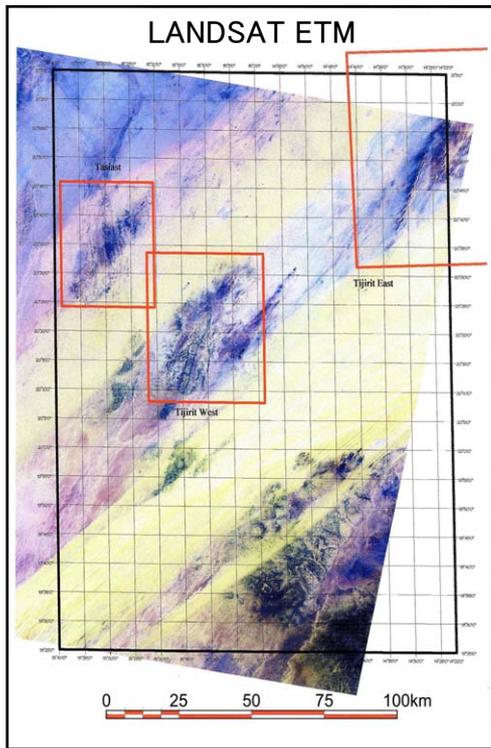


図 4.3.9 Tasiast-Tijirit 地域および Tasiast 地域の衛星画像

(4) Tijirit

Tijirit 地域は、その北側に位置し幅約 20km で NE-SW 方向に発達する Azefal dune によって、Tasiast 地域と明瞭に地理的に区別される(図 4.3.2)。しかし、Tijirit 地域の南西部は Tasiast 地域と同様な地質ユニットであり、始生代のトーナル岩—花崗閃緑岩系岩石、ミグマタイト質片麻岩および花崗閃緑岩質ミグマタイトからなる花崗岩—片麻岩帯、ならびに珪岩、苦鉄質片岩、縞状磁鉄鉱層、橄欖岩、蛇紋岩、角閃岩などからなるグリーンストーン帯で構成される。

一方、本調査で調査した Tijirit 地域の Ator 地区は、始生代とされる塩基性火山岩、角閃岩、蛇紋岩、片岩類が分布する (PRISM, 2004) が、縞状磁鉄鉱層は見られない。Tasiast 地域と比べると NNE-SSW 系の構造が顕著で、同方向の岩脈、断裂帯が発達している。Tijirit 地域の Landsat 画像のリニアメント抽出結果(図 4.3.10)からも NNE-SSW 系のリニアメントが卓越し、次いで ENE-SWS 系の発達が認められる。これらのことは、NW-SE 方向の圧縮を受けた造山運動があったことを示唆している。

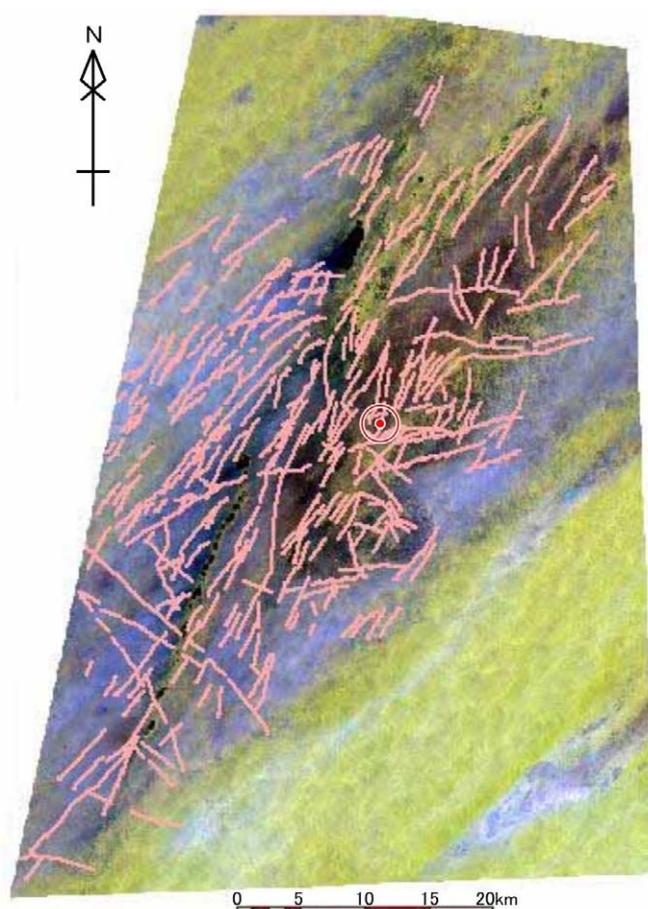


図 4.3.10 Tijirit におけるリニアメント
赤点は Tijirit 鉱床 Ator 鉱脈の位置

Ator 地区の鉱床は、玄武岩、蛇灰岩中の断裂帯に沿う含金石英脈である。主脈の Ator 鉱脈は走向 N20° E、傾斜 70° E、最大脈幅 1m、延長約 30m である。石英脈と剪断面のシュミットネットによる解析から、それらの平均方向は、走向 N10° E、傾斜 74° E を示した(図 4.3.11)。

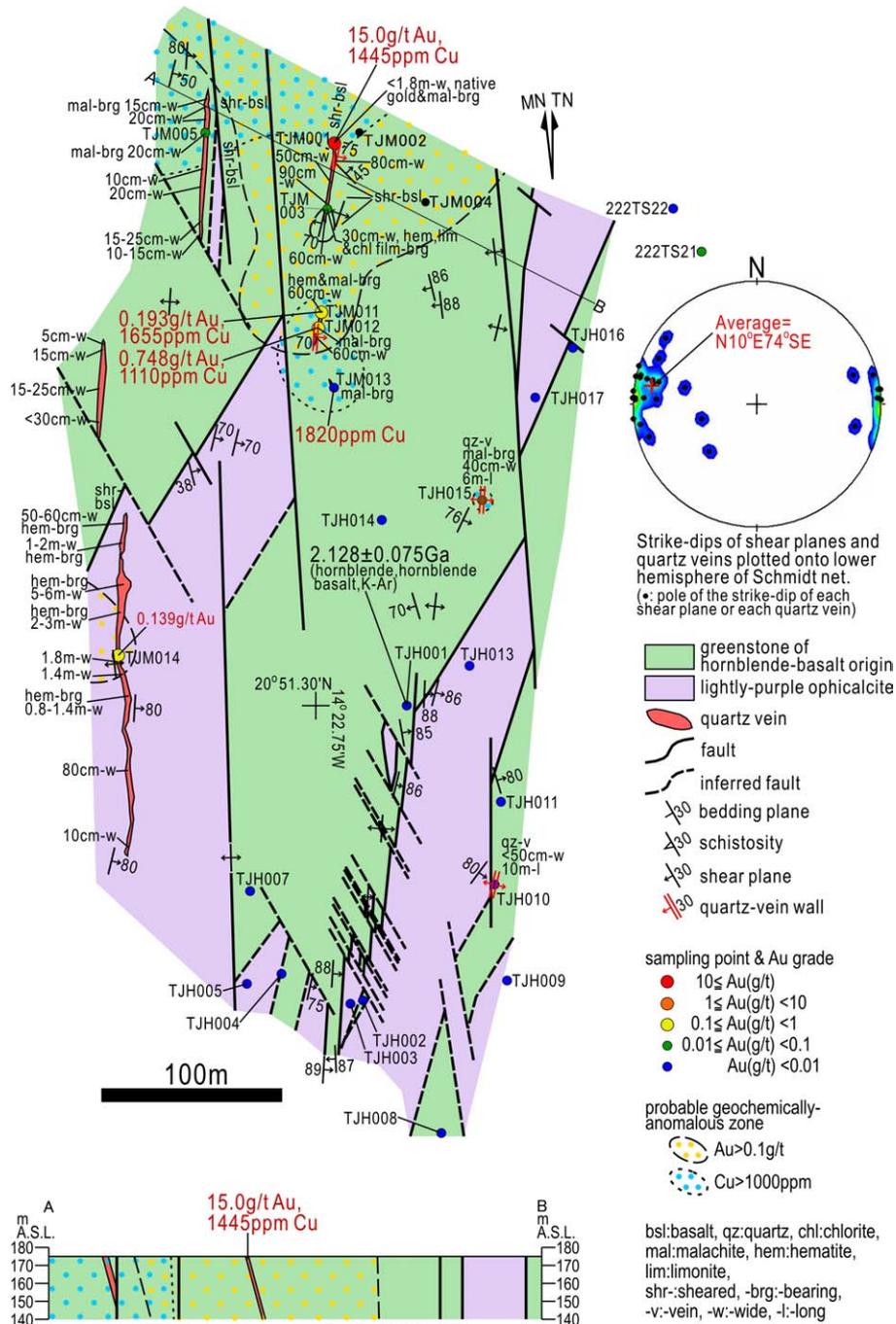


図 4.3.11 Tijirit 鉱床地質図および地化学図

石英脈は径 1mm 以下の等糖質石英集合体からなり、緑泥石が認められる。孔雀石、赤鉄鉱および褐鉄鉱が鉱染し、孔雀石が認められる箇所には、しばしば自然金が肉眼で確認

できる。本調査では金品位で最高 15.0g/t、Cu 1,820ppm の高品位鉱を認めた(巻末資料 I の 2.5)。

石英脈中の流体包有物は、大きさ 3-10 μm で気体包有物に富み、液体包有物、NaCl の結晶を含む多相包有物が認められる。多相包有物の均質化温度測定では、気相が消える前に液体がリークするものが多く、温度測定は困難を極めた。金品位 15.0g/t を示した試料の均質化温度は 384°C、塩濃度は 45wt% NaCl eq.を示した(インテリムレポート巻末資料 D)。

Ator 脈の南約 300m の玄武岩中のホルンブレンドに対して年代測定(K-Ar)を実施した。年代値は $2128 \pm 75\text{Ma}$ を示した(巻末資料 I の 2.6)。これは原生代 Animikian に相当する。既存の資料(PRISM, 2004)では始生代としているが、この時代より若いことが判明した。

以上のことから、Tijirit 鉱床は原生代のグリーンストーン帯中に生成した鉱脈鉱床で、造山活動に伴う広域変成・変形作用によって NNE-SSW 系の断裂が生成し、これらの断裂沿いに塩濃度に富む熱水が上昇して胚胎した含金石英脈鉱床であると考えられる。

(5) Guelb Moghrein

(a) 地質

Akjoujt 地域の北部には始生代の Amsaga 基盤岩、東方には Taoudeni 堆積盆の地層が分布している。本地域の地質単位は Oumachoueima 層群の Akjoujt 変玄武岩(変ドレライト、変玄武岩質火山岩類)を主とし、炭酸塩質片岩、鉄質珪岩、蛇紋岩などで構成されている(Stickland and Martyn, 2001)。本地域の南西部には、Hajar Dekhen 花崗岩類が Oumachoueima 層群に衝上している(図 4.3.12)。

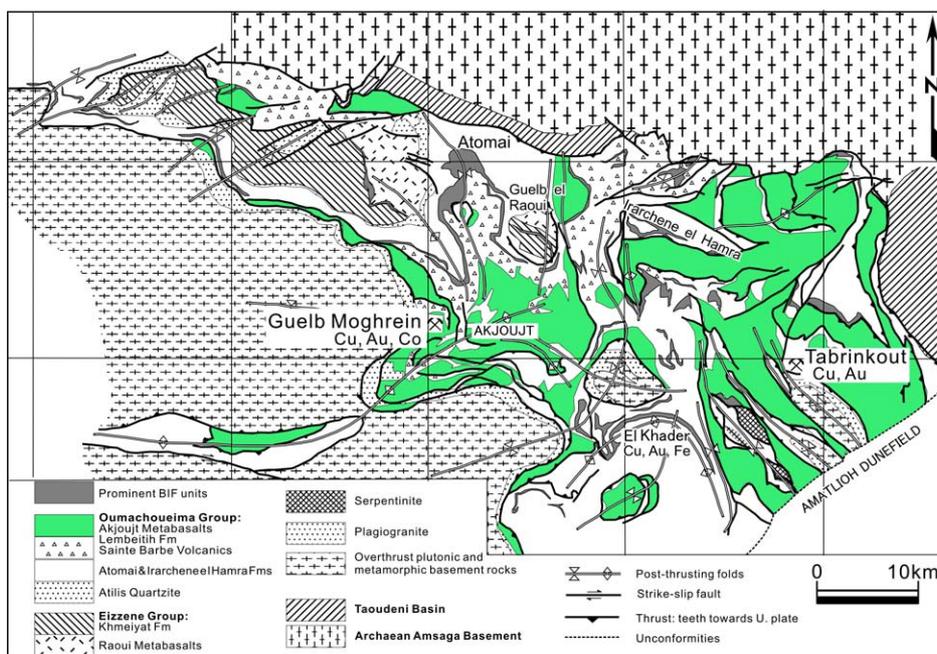
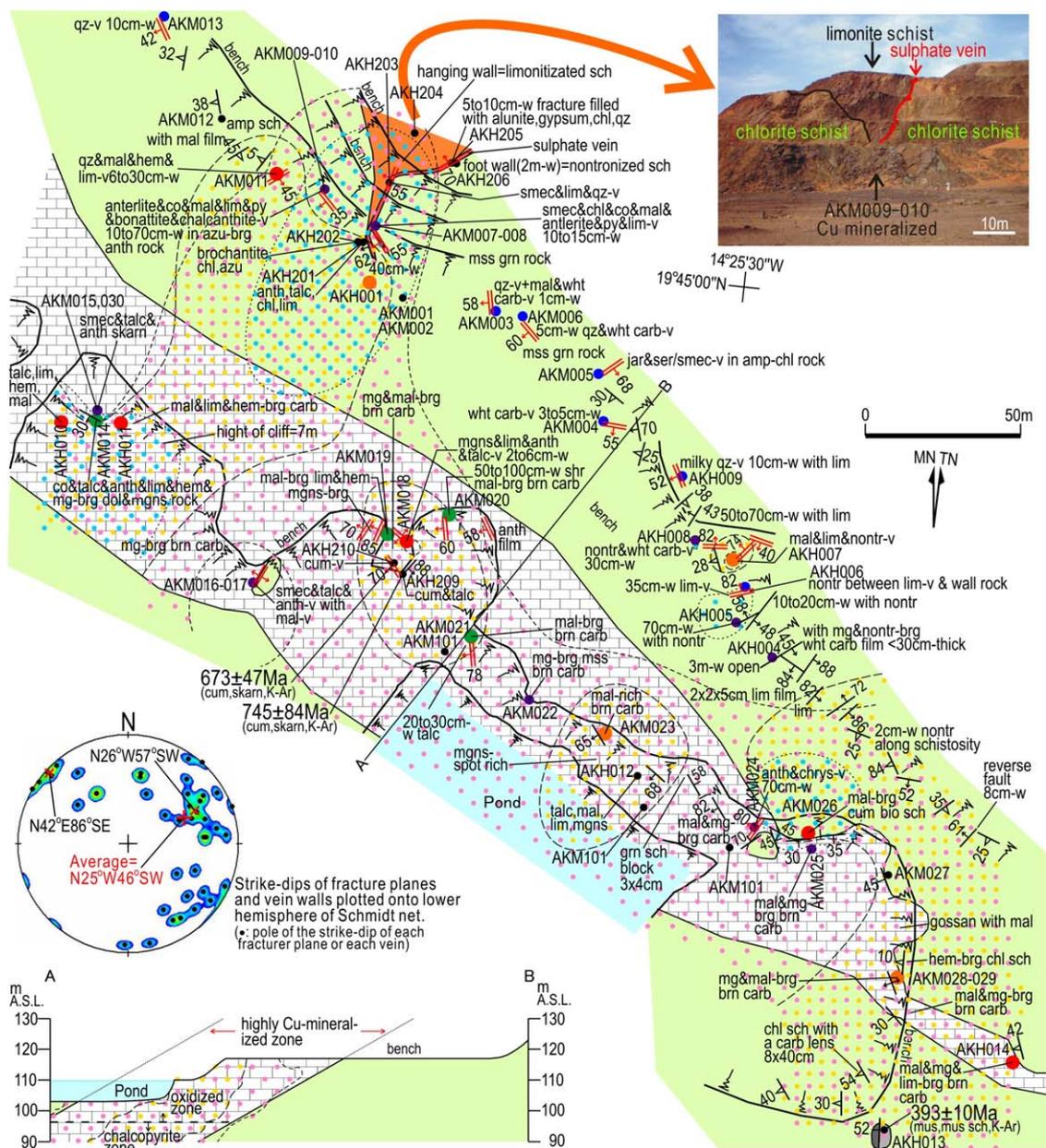


図 4.3.12 Akjoujt 地域広域地質図

Guelb Moghrein 鉱床付近には(安山岩質—)玄武岩質火山岩類起源の緑泥石片岩が広く分布し、ブロック状ないしレンズ状の炭酸塩岩体を含む。また、極一部に白雲母片岩、黒色片岩が露出する。片理は走向 WNW-ESE あるいは NW-SE で、傾斜 25-40° SW を示し、全体の構造と調和している。

(b) 鉱床

Guelb Moghrein 鉱床は西部鉱体と東部鉱体から成り、緑泥石片岩中に片理と調和的に胚胎する。このうち西部鉱体が採掘対象となり、その上部が 1970 年代に露天堀で採掘された。鉱体は最大幅 60m、厚さ約 20m、延長 300m 強で、炭酸塩岩を交代した磁鉄鉱—孔雀石鉱体がレンズ状に胚胎している(図 4.3.13)。鉱体の走向は N30-60° W で、傾斜は 30-70° SW である。炭酸塩岩と緑泥石片岩との境はシャープで、鉱体直下の片岩中にはタルク、直閃石、カミングトン閃石が認められる(図 4.3.14)。炭酸塩岩は塊状で、多量の鉄酸化物(磁鉄鉱、赤鉄鉱および褐鉄鉱)を含み、淡褐色—赤褐色を呈す。ドロマイトおよびマグネサイトからなり、Mg に富んでいる(図 4.3.15)。



sch:schist, qz:quartz, mal:malachite, chrys:chrysocolla, azu:azurite, co:covellite, mg:magnetite, hem:hematite, lim:limonite, py:pyrite, amp:amphibole, anth:anthophyllite, cum:cummingtonite, chl:chlorite, bio:biotite, mus:muscovite, smec:smectite, nontr:nontronite, ser/smec:interstratified sericite and smectite, carb:carbonate (rock), dol:dolomite, mgns:magnesite, jar:jarosite, shr:sheared, mss:massive, -brg-bearing, -v-vein, -w-wide, gm:green, brn:brown, wht:white

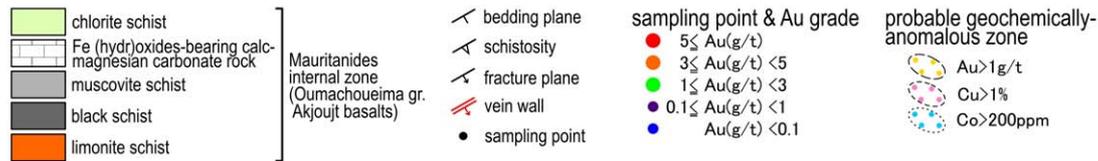


図 4.3.13 Guelb Moghrein 鉱床地質図および地化学図

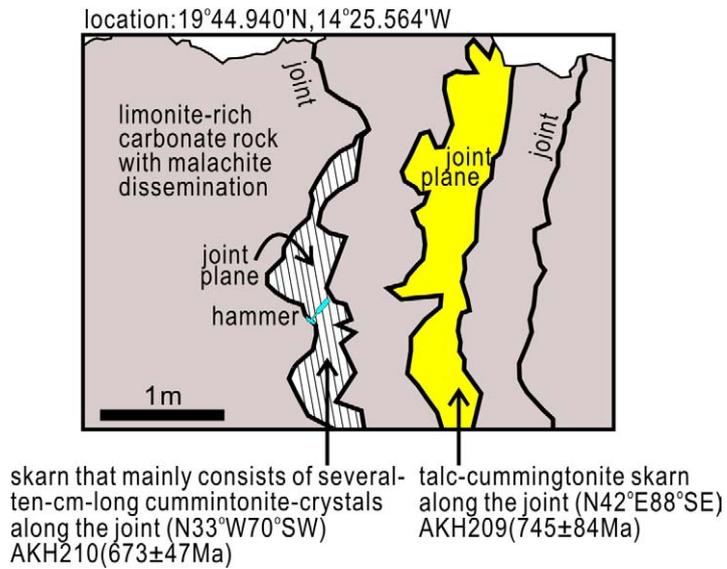


図 4.3.14 含磁鉄鉱-褐鉄鉱炭酸塩岩中のカミングトン閃石-タルクの産状

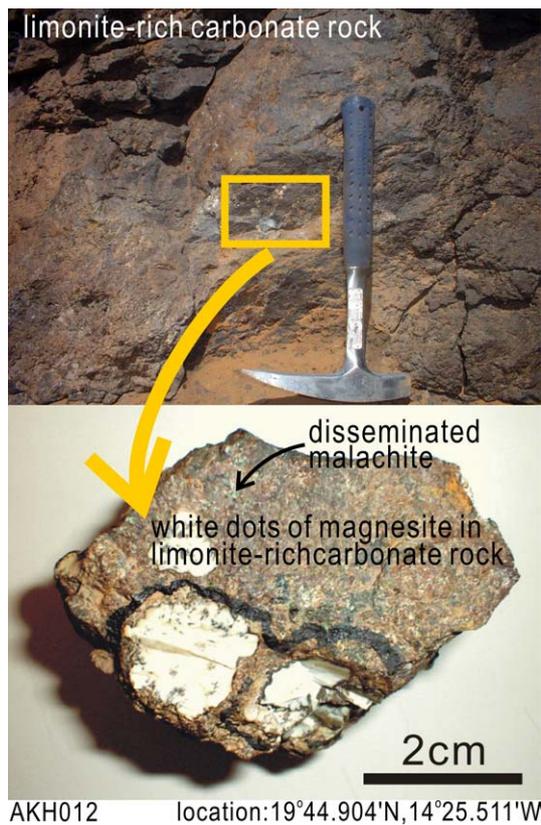
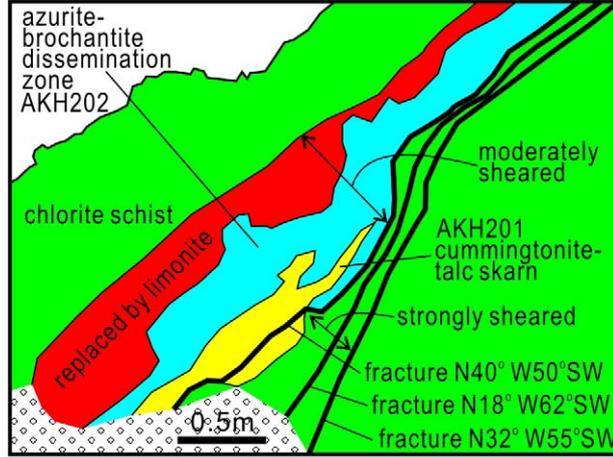


図 4.3.15 含磁鉄鉱-褐鉄鉱炭酸塩岩中のマグネサイト濃集部

地表部では、鉱床下盤の緑泥石片岩を切って、鉱床頂部から上方(比高で 20m+)に向かって延びる幅 5-20cm の割れ目を硫酸塩銅鉱物が充填している(図 4.3.16)産状が観察され

た。また、一部には含磁鉄鉱炭酸塩鉱石を切り、あるいは鉱床下盤の緑泥石片岩中に片理面にほぼ平行に形成した石英脈(脈幅 5-10cm)が観察され、しばしば孔雀石、ノントロナイト、緑泥石などを伴う。

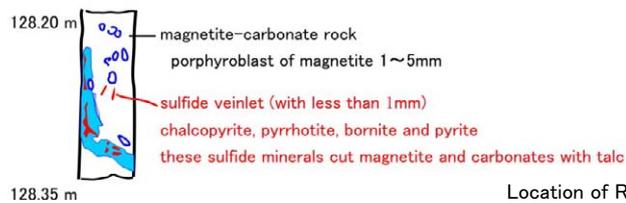
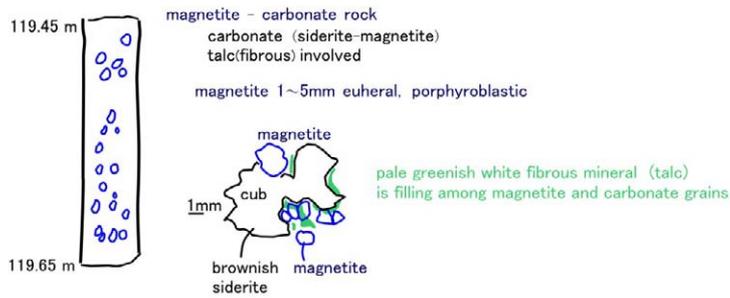


AKH201,202
location:19°45.001'N,14°25.577'W

図 4.3.16 硫酸塩銅鉱物を伴う割れ目の露头

ボーリングコアの観察では、含磁鉄鉱炭酸塩岩および緑泥石片岩中には、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱などの初成の硫化鉱物が鉱染していることが認められる(図 4.3.17)。磁鉄鉱は自形で、粒径 1mm 前後の粗粒を示す。鉱体上部では、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉱が炭酸塩鉱石の割れ目沿いあるいはフィルム状または鉱染状に濃集する。

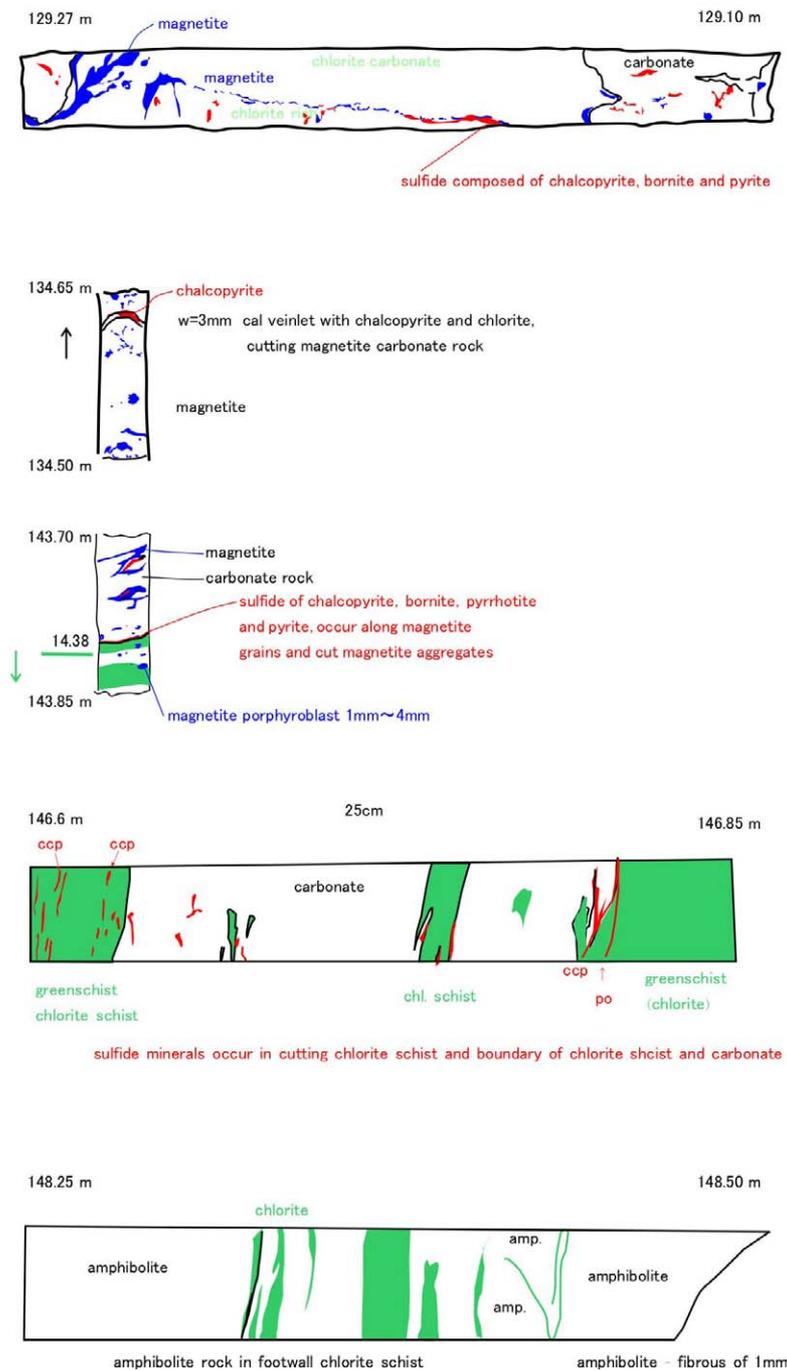
RCGM 66



Location of RCGM66: 19.7487N, 14.431858W

図 4.3.17 Guelb Moghrein でのコアの鉱化部の産状(1)

RCGM 66



Location of RCGM66: 19.7487N, 14.431858W

図 4.3.17 Guelb Moghrein でのコアの鉱化部の産状(2)