

2-2 地形及び水系

本調査地域の標高は400～600メートルで全体的になだらかな丘陵地形である。同地域は、北部のジェビレット山塊 (Jebilet)、中央部のハウズ平原 (Haouz plain) と南部のグエマサ山塊 (Guemassa) に挟まれたハウズ平原 (Haouz plain) に位置する。ジェビレット山塊及びグエマサ山塊地区は弱変成を受けた古生代の堆積岩類及び火山岩類からなり、ハウズ平原地区は古生代の基盤岩類の上に厚さ80m以上の第三紀～第四紀の堆積物が覆っており、岩石の露出は極めて少ない。

水系は、調査地域の西部を Oued Niss 川が北北西に流れ、地域外北方の Oued Tensift 川に注いでいる。

2-3 気候及び植生

気候は内陸性気候の乾燥地域にあたり、昼夜、季節間の寒暖の差が大きく夏季は40℃以上、冬季は0℃近くに達する。植生は一般に乏しく、乾燥地に適したオリーブや柑橘類、葡萄等の果樹、小麦栽培、羊の放牧等が行われている。雨期は4～5月と10～11月で年間雨量は約300mm程度であるが、雨期の集中豪雨により水害が発生することがある。Table I-2-1にマラケシュの気温及び降水量を示す。

Table I-2-1 Temperature and precipitation in Marrakech

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temp. max. (°C)	17	20	23	26	29	33	38	38	33	28	23	18
Temp. min. (°C)	3	6	10	11	14	17	20	20	18	14	10	6
Prec. (mm)	29	31	31	33	20	8	2	3	10	17	27	34

最高・最低気温は月別平均気温。降水量は月別数値の平均('94 モロッコ政府観光局資料)

2-4 基盤整備状況

調査地の東に位置するマラケシュ市は、1000年以上の歴史を有する世界遺産にも指定されている人口35万人の国際観光都市であり、電気・水道・道路・医療・通信等の基盤整備状況は整っている。調査地までの道路は比較的良好に舗装されている。携帯電話もほぼ全域で通話可能である。

第3章 調査地域の既存地質情報

主として昨年度報告書を要約して調査地域の既存地質情報を述べる。

3-1 調査周辺地域の一般地質

1) 分布

調査地の北方のJebilet 山塊中央部は、ほぼ南北ないし北北東-南南西方向の走向を有し、

東傾斜で堆積する古生界からなる。一方、南部のGuemassa 地区の地質構造はほぼ北北西-南南東ないし北東-南西方向における走向を有し、東に傾斜する。古生代は主としてデボン紀～石炭紀～二畳紀の泥質岩で、石灰岩、凝灰岩、砂質岩を挟む。また、酸性または塩基性の火成岩のシル状岩体を多く挟んでいる。

Jebilet 山塊中央部およびGuemassa 地区の石炭系上部 (Visean) の地質は、Sarhlef 層の泥質岩、酸性火山岩類および塩基性火山岩類、およびそれらの有律互層、千枚岩、その上位のTequsim 層の炭酸塩岩、上位の泥質岩からなる。Fig. I-3-1 に本調査地域の地質図、Fig. I-3-2に総合地質柱状図、Fig. I-3-3に地質断面図を示した。

堆積岩類は、頁岩、粘板岩、片岩からなり、広域変成作用と鉍化変質の影響を強く受けて、絹雲母、緑泥石等が多く含まれている。

2) 堆積環境

塊状硫化物鉍床の上盤側と下盤側のアルカリ変質強度の差異をみると、上盤側においても高い変質強度が得られるものがあり、鉍床生成後もしばらく熱水活動が継続したか、あるいは重複した可能性が示唆される。主要元素に関して、碎屑起源を反映するとされる Al_2O_3 と TiO_2 、V、 K_2O および P_2O_5 は相互に正の相関、 SiO_2 、CaOおよび Fe_2O_3 は相互に負の相関があり、一般的な海底堆積物の傾向を示す。Hajar 鉍床、Draa Sfar 鉍床、Kettara 鉍床における SiO_2 のばらつきは酸性火山活動による碎屑起源物質の供給の変化によるものであり、Khwadra 鉍床におけるCaOが他に比べて高い傾向は、生物起源物質の供給が他鉍床に比べて多かったとことによると考えられる。希土類パターンはLREE に富みEu異常が見られるが、これは島弧火山碎屑物の影響によるものであり、鉍床上盤側で総希土類 (TREE) が増加する傾向は熱水によって下盤側から上盤側に希土類が移動したことによるものと考えられる。また、泥質岩中の硫化物の硫黄同位体は、概ね-35‰～+25‰の間でばらつき、下盤側から上盤側に軽くなる傾向があり、Kajiwara(1989)、Kajiwara and Kaiho(1992)、小室 (1999) によれば堆積環境が還元的環境から酸化的環境に変化したことを示していると考えられる。

3) 火山岩類の特徴

昨年度調査で、本地域の各鉱床付近に分布する火山岩類について、化学組成及び放射性年代が検討された。

化学組成分析の結果、Hajar 鉱床、Khwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床の酸性火山岩類（流紋岩等）の希土類パターンは軽希土類に富み、Eu 異常値がある平坦なパターンを示し、主要成分では SiO_2 と K_2O 、Rb、Ba、Cs とが負の相関を示す類似の傾向を呈することから、これらの酸性火山岩類は類似の地球化学的性質を有しているが、隣接するSafsafa 鉱床の酸性火山岩類（tonalitic mylonite）とは異なる。また、本地域の塩基性火山岩類（dolerite）について他地域の玄武岩類とLIL 元素及びHFS 元素とを対比すると、本地域の塩基性岩火山岩類はLIL 元素に富む島弧玄武岩類の特徴を有し、LIL及びHFS双方に乏しいN-MORBとは異なることがわかった。

鉱化年代と火成活動年代の把握を目的としたK-Ar 放射性年代測定の結果から、深成火成活動、酸性火山活動、鉱化変質（Guemassa山塊、Jebilet山塊）に分類した。深成火成活動と酸性火山活動の年代は290～360Ma、鉱化変質（Guemassa）の年代は260～320Ma、Jebilet山塊の鉱化変質は深成岩及び火山岩の活動の末期に相当し、Guemassa山塊の鉱化変質の年代は260～290Ma であり深成岩及び火山岩の活動の後に相当する。

4) 地質構造

北部のJebilet 山塊中央部は、ほぼ南北ないし北北東-南南西方向における走向を有し、東傾斜で堆積する基盤岩類からなる。一方、南部のGuemassa 地区の地質構造はほぼ北北西-南南東ないし北東-南西方向における走向を有し、東傾斜で堆積する。基盤岩類は主として古生代デボン紀～石炭紀～二畳紀の泥質岩であり、石灰岩層、凝灰岩層、砂質岩層を挟む。また、酸性岩或いは塩基性岩のシル状岩体を多く挟んでいる。

Jebilet 山塊中央部およびGuemassa 地区の石炭系上部Visean の地質は、Sarhlef 層の泥質岩、酸性火山岩類および塩基性火山岩類、有律互層、千枚岩、その上位のTequsim 層の炭酸塩岩、上位の泥質岩からなる。

3-2 調査地域の鉱床概要

(1) 調査地域における鉱化作用の特徴

調査地域周辺には、Jebilet山塊中央部のKettara鉱床、Jebilet山塊南限で第三紀層被覆部との境界付近にDraa Sfar鉱床とKhwadra鉱床、Guemassa山塊の東縁に位置するHajar鉱床、西部のFrizen鉱床が分布する。

Jebilet 地区およびGuemassa 地区に見られる鉱床は、古生代石炭紀のVisean のSarhlef 層の泥質岩と砂岩の互層、泥質岩と珪岩の互層および酸性火山岩類に胚胎する銅、鉛、亜鉛、鉄の塊状硫化物鉱床である。

主な塊状硫化物鉱床は、Jebilet 山塊中央部のKettara 鉱床、Jebilet 山塊南限で第三紀層被覆部との境界付近に見られるDraa Sfar 鉱床、Khwadra 鉱床、Guemassa 山塊の西縁に位置するHajar 鉱床、東部のFrizen 鉱床からなる。Fig. I-3-1に本地域に分布する鉱床・鉱徴地の位置図を示した。

これらの鉱床は、層状、塊状およびレンズ状を示し、主に磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱の鉱物組み合わせからなる。また、鉱床近傍には酸性・塩基性の火山岩類が分布し鉱化作用と関連する。

渡辺(2001)によれば、Hajar鉱床での地層は、下部、中部、上部の3部層に区分されている下部層は、シルト岩～泥岩互層からなり、デイサイト質～流紋岩質の溶岩および火山砕屑岩を狭在する。中部層は硫化物鉱体からなる。上部層は 150-200mの厚さのシルト～泥岩からなり、薄い石灰質岩を狭在する。硫化物からなる鉱体を覆っている。鉱床の下部では硫化物鉱体が消滅し、下部層を直接上部層が整合で覆っている。上部層にも部分的に火山砕屑岩が含まれることは、鉱床形成後も火成活動が続いていたことを示す。Hajar鉱床の主要な鉱体は約50-90mの厚さを有し、少なくとも側方に200～300m追跡される。

現在の地表に近い部分の鉱石は約20mにわたって酸化している。この部分では黄鉄鉱は磁硫鉄鉱を置換している。酸化を受けていない鉱体は75～95%が磁硫鉄鉱からなり、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱および硫砒鉄鉱を伴う。

鉱体の下部は、層理面を高角度で切るストックワーク状の磁硫鉄鉱細脈群からなる。母岩は流紋岩や火山砕屑岩、泥岩からなり、珪化・緑泥石変質を受けている。流紋岩には黒雲母・アルカリ長石からなる変質が認められ、緑泥石変質がこれに重複している。鉱体の上部に向かうに従い、層理面に平行な細脈群が出現し、やがて塊状鉱、または縞状鉱からなる主要な鉱体へと移化する。一部では堆積岩と硫化物層との有律互層も認められ、硫化物が海底面下で堆積したことを示す。主要な熱水変質鉱物は緑泥石と絹雲母で鉱体下部では黒雲母が認められる。この鉱床の大きな特徴は、ヘルシニア期の変成作用のために、もともと黄鉄鉱として沈殿した鉄硫化物が磁硫鉄鉱に置換されていることである。この変成作用によって鉱床形成時の熱水の温度や性質を推定することは困難となっている。

鉱床形成中からその後にかけて、マラケシュ地域では周辺の陸塊から供給された砕屑物が硫化物鉱体を預って厚く堆積している。

(2) 硫化物の特徴

本調査は、Jebilet 地区およびGuemassa 地区の鉱床の存在から判断して、Marrakech 地区に分布する潜頭性の塊状硫化物鉱床の特徴を把握し、有望地を抽出することを目的としている。以下に、地質調査・既存ボーリングコア調査および室内試験より得られた塊状硫化物鉱床の特徴を示す。

1) 鉱化作用の区分と磁硫鉄鉱の産状について

本地域に分布するKhwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床、Frizen 鉱床は、その鉱床形態・鉱物組み合わせ・関係火成岩からみて塊状硫化物鉱床に相当する。昨年度の調査で、これらの鉱床の産状・鉱石鉱物・母岩の変質を検討した結果、早期と後期の鉱化作用の重複により鉱床が形成していることが判明している。いずれの時期の硫化物も、石英と共生している。

早期と後期の鉱化作用は、Fe-S 系の鉱物から見れば、それぞれ磁硫鉄鉱と黄鉄鉱で代表される。さらに、Khwadra 鉱床、Hajar 鉱床において早期鉱化作用は、早期I とII の鉱化作用に細分され、前者は六方型磁硫鉄鉱で、後者は単斜型磁硫鉄鉱で代表される。後期の鉱化作用により早期I の六方型磁硫鉄鉱は広範囲に単斜型化されているが、早期II の単斜型磁硫鉄鉱は白鉄鉱化されている。

早期Iの六方型磁硫鉄鉱と共存する石英の流体包有物の均質化温度は270-280°Cである。早期IIの単斜型磁硫鉄鉱は石英・閃亜鉛鉱とともに300°C以下の温度(230-250°C)で直接単斜型磁硫鉄鉱として晶出した。後期の黄鉄鉱・閃亜鉛鉱等と共生する石英の流体包有物の均質化温度は200-250°Cである。

2) 硫黄同位体比の特徴

Khwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床およびFrizen 鉱床の硫化物の硫黄同位体比は、早期鉱化作用については鉱床ごとの違いが明瞭である。Khwadra 鉱床では硫黄同位体比が低く、次いでDraa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床、Frizen 鉱床と高い値へと変化した。このような同一鉱床内あるいは同一鉱床地帯内における硫化物の硫黄同位体比の大きな変動は、日本の黒鉄鉱床の硫黄同位体比の均一性とは対照的である。その原因は、鉱床形成の物理化学条件の違い、生物起源の硫黄の混入、熱水系への海水起源の硫黄供給の多寡などで説明され、各鉱床の生成環境の相違が示唆される。Khwadra 鉱床は相対的に生物起源の硫黄の混入が多く、Hajar 鉱床とFrizen鉱床は相対的にマグマ起源の寄与が大きかったとされる。

3) 鉱化作用と磁性

各鉱床周辺の磁性の強度は、鉱床に特徴的な磁硫鉄鉱の多型の特徴とも関連する。単斜型

磁硫鉄鉱が特徴的に産するKhwadra 鉱床、Hajar 鉱床では、高い磁気異常であり、六方型磁硫鉄鉱（早期I）と単斜型磁硫鉄鉱（早期II）の混在するDraa Sfar 鉱床では高い磁気異常帯と弱い磁気異常帯が隣接して分布し、六方型磁硫鉄鉱に黄鉄鉱が重複するKettara 鉱床、Frizen 鉱床では弱い磁気異常のみを捕らえていることである。中～弱程度の異常部分にもKettara 鉱床、Frizen 鉱床のような六方型磁硫鉄鉱＋黄鉄鉱からなる磁性の弱い塊状鉛亜鉛硫化物鉱床が存在する可能性や、高磁気異常と弱磁気異常が隣り合う部分に六方型磁硫鉄鉱＋単斜型磁硫鉄鉱からなる比較的磁性の弱い塊状鉛亜鉛硫化物鉱床が存在する可能性が考えられる。

4) まとめ

以上の本地域周辺の塊状硫化物鉱床の特徴は、次のようにまとめることができる。

- (1) 本地域周辺の塊状硫化物鉱床は、鉱化作用の重複が見られ、鉱物組み合わせから、早期I 鉱化作用、早期II 鉱化作用、後期鉱化作用に区分される。
- (2) 早期I 鉱化作用は、六方型磁硫鉄鉱で代表され、磁性はやや弱い。早期II 鉱化作用は、単斜型磁硫鉄鉱で代表され、磁性は強い。後期鉱化作用は、黄鉄鉱で代表され、磁性は弱い。
- (3) 硫化物と共存する石英の流体包有物の均質化温度は早期I は270-280℃、早期IIは230-250℃、後期は200-250℃で、鉱床生成温度の変化を反映するとみられる。
- (4) 同一地域内における硫黄同位体比の大きな変動は、鉱床形成の物理化学条件の違い、生物起源の硫黄の混入、鉱化熱水系への海水起源硫黄の供給の多寡などで説明され、北西のKhwadra 鉱床は相対的に生物起源の硫黄の混入の影響が強く、南東のHajar 鉱床と、南西のFrizen 鉱床は相対的にマグマ起源の寄与が大きかったとみられる。
- (5) 鉱化作用の性状から鉱床タイプを分類すると、以下の通りである。
 - (a) 早期I 卓越型中磁気異常 (Draa Sfar 鉱床)
 - (b) 早期I＋後期重複型中磁気異常＋低磁気異常 (Frizen 鉱床、Kettara 鉱床)
 - (c) 早期II＋後期重複型高磁気異常＋低磁気異常 (Khwadra 鉱床、Hajar 鉱床)

3-3 調査地域周辺の鉱業事情

現在、鉱産物はモロッコ王国の最大の外貨獲得源であり、輸出の約35%、GDPの約6%を占める。同国の最も重要な鉱産物は燐灰石を主体とするリン鉱石で、米国、中国に次ぐ世界第三位の生産国となっている。

同国では、リン鉱石のほか、シリコン、鉛、銅、亜鉛、銀、マンガンおよび重晶石なども生産・輸出しており、金、コバルト、ニッケル、鉄、クロム、ウランおよび螢石などの鉱床も知られている。

調査地域周辺では塊状硫化物鉱床が存在し、地域北方のKettara 鉱山がかつて稼行され、

地域北方の Draa Sfar 鉱山と、地域南東方の Hajar 鉱山が操業中である。

Kettara 鉱床は地域北方に位置する。1937 年に発見され、1982 年まで主として磁硫鉄鉱が採掘された。磁硫鉄鉱はモロッコ特産の燐鉱石の還元剤として利用された。1,000 万トンの磁硫鉄鉱が未採掘で残されているとされる。

Draa Sfar 鉱床は、地域北東方に位置する。1953 年に地表付近の酸化帯で鉄が採掘され始めた。1962 年に BRPM は磁気調査とボーリングを行い、含銅磁硫鉄鉱の薄いレンズ状鉱体を捕捉した。その後 BRPM は、1968 年～1982 年に地表から 150m までの範囲で 400 万トンの鉱石の採掘を行った。1986 年～1996 年に探鉱ボーリングが続けられ、1997 年に民間会社 (Compagnie Miniere des Guemassa ; CMG) に払い下げられた。Draa Sfar 鉱床では、流紋岩および流紋岩質凝灰岩の上位に垂直に胚胎する。鉱体は 800m 以上側方に延長し、上位はシルト質岩に覆われている。

Hajar 鉱床は、マラケシュの 35km 南に位置する。1984 年に磁気異常域を狙った BRPM のボーリングにより発見され、1988 年まで BRPM により探査が続けられた。1988 年、ONA と BRPM が Compagnie Miniere des Guemassa (CMG) を設立し、同鉱山は CMG に譲渡された。1992 年、鉱石の生産が始まり、現在、毎年 10 万トン前後の亜鉛、4 万トンの鉛、および 3 万トンの銅が生産されている。Table I-3-1 参照。

Table I-3-1 Main ore deposits and gossans around the area

Ore deposits or gossans	Summary
Kettara	- 1956: Cuprous pyrite 1956-1965: Survey for phosphates 1964-1981: Produced 8Mt ore including 5.3Mt of Pyrrhotite 1982: Closed.
Draa Sfar	1953: Gossan exploited 1962: magnetic survey and drilled (12holes). Cuprous pyrite discovered. Operated at present.
Hajar	Discovered in the 1984 by BRPM. Mining commenced during 1992. 3,000t/d, averaging 10.5% zinc, 3% lead, 0.3% copper and 60g/t silver in 2001.
Frizem	1984: Magnetic survey
Khwadra	2000: Drilling survey.