

1.3 JERS-1 SAR画像解析

1.3.1 使用データ及び画像処理

(1) 使用データ

表12に本画像解析に使用したJERS-1 SARデータの諸元を示す。

表12 JERS-1 SARデータ諸元

センサー	パス(Path)	ロウ(Row)	データ取得日
JERS-1 SAR	303	239	19960910
	303	240	19960910
	304	239	19920624
	304	240	19920624

JERS-1 SARセンサの仕様を表13に示す。JERS-1 SARセンサはサイドルッキング方式の合成開口レーダの一つである。JERS-1 SARセンサの観測原理は図13に示したように、高度一定の軌道上(アジマス方向)を直線的に進行しながら側方向(レンジ方向)及び斜め下方に、マイクロ波のパルスを次々に送信し、地表面からの反射パルスを受信する。このようにセンサが次々と異なった位置をとりながらパルスを送信・受信していくことを利用して実効的に長いアンテナを合成する。これがSARが合成開口レーダーと呼ばれる理由である。また、マイクロ波は雲を透過することから、SARは全天候性のセンサとして地球観測の上で欠かせない存在となっている。

表13 JERS-1 SARセンサの仕様

バンド	1(Lバンド)
周波数	1275MHz
分解能	18m
走査幅	75km
オフナディア角	35°
偏波	HH

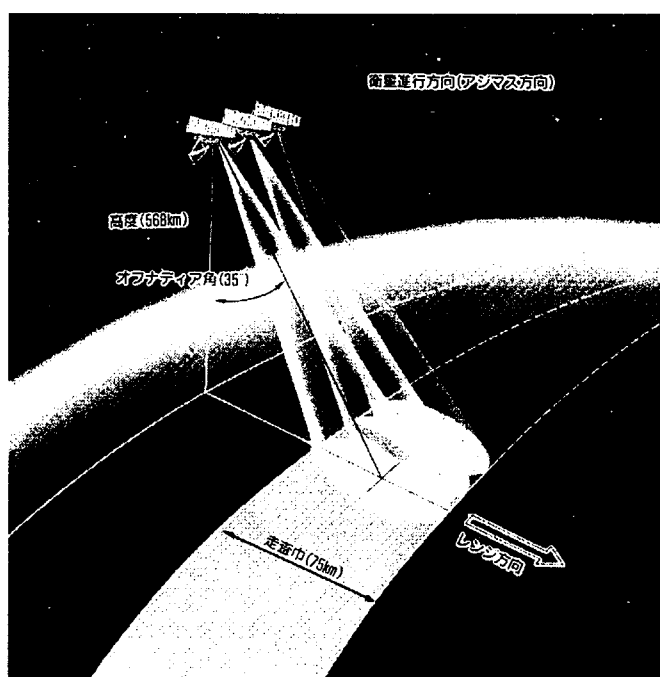


図13 合成開口レーダの観測原理

しかし、SARセンサは、観測対象を真上からではなく一定の角度(オフナディア角)をもって斜め上方から走査するため(図13)、得られる画像にマイクロ波送信方向に幾何学的な歪みを生じる。これはフォアショートニングやレイオーバーと呼ばれる現象である。この現象はSARセンサの原理上避けがたい短所であり、また、長所でもある。すなわち、観測対象がある程度急峻な地形を呈する場合、フォアショートニング⁽¹⁾やレイオーバー⁽²⁾によって、リニアメントなどの判読に支障をきたす場合がある。一方、フォアショートニングやレイオーバーの程度は、オフナディア角と標高との関係によって決まるので、DEM(Digital Elevation Model)の抽出が可能であることが知られている。

(2) 画像処理

JERS-1 SARデータを画像化する際、3×3ピクセルのメディアンフィルターを適用し、リニアメント判読が容易となるようエッジ強調処理を各データに前処理として施した。また、解析対象範囲の画像を作成する際、表8に示した地図投影パラメータによって、JERS-1 SARの4シーンデータを画像化した後、デジタルモザイク処理によって1画像とし、このデジタルモザイク画像から解析対象範囲を含む5330ピクセル×5205ラインを切り出し、写真地質学的判読作業に供した。

1.3.2 写真地質学的判読

図14にJERS-1 SAR画像を示す。図14を見ると起伏の東側が明るく、フォアショートニングが認められる。これは、この画像が東の方向から撮像されたものであることを示している。

SAR画像にはマイクロ波の後方散乱による反射の強度が現れる。したがって、ラフネス(roughness)が強い場合画像上で明るくなり、ラフネスが弱い場合画像上で暗くなる。調査地域におけるラフネスの違いは、主に植生及び岩相の違いが反映されているものと考えられる。画像上では植生が多い山地で明るく、地表に凹凸の少ない平地で暗い。植生が多い川沿いは明るく、水系の判読が容易である。また、湖や貯水ダムでは、鏡面反射によって後方散乱が起こらず、画像上で暗黒を呈する。

図15にリニアメント解析図を示す。リニアメントは三畳系～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-南東系及び東西系のものも認められる。既知鉱床が分布し、本年度の地質調査地区であるブキル地区、ラクワット-アルグブ・アダマ地区、バジナ・ケビラ地区及びウェド・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。

図16に地質単元区分図を示す。図16はLANDSAT-TMの判読によって得られた地質判読結果を、JERS-1 SAR画像上に再投影したものである。

JERS-1 SAR画像では、LANDSAT-TM画像よりも地質識別能力が劣る。これはLANDSAT-TM画像が多バンドのスペクトル情報を有することに対し、JERS-1 SAR画像は、ラフネスや水系パターンなど

(1)フォアショートニング：マイクロ波映像レーダーにおいてフォアスロープの斜面方向の長さが実際より短縮されて画像上に描かれる現象。

(2)レイオーバー：フォアショートニングがさらに進み、フォアスロープの頂部が基部よりも倒れ込んだように画像上に描かれる現象。

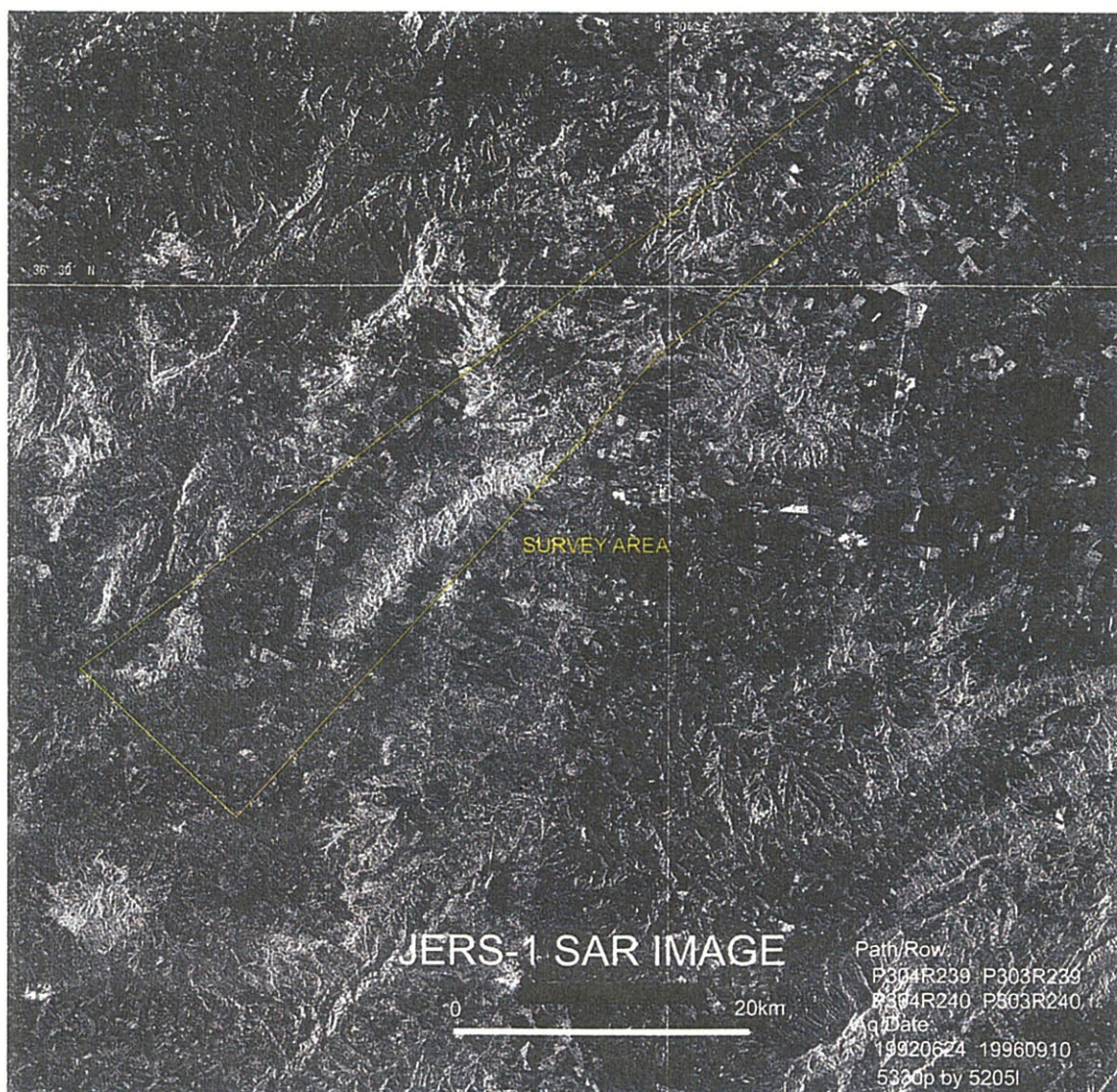


图14 JERS-1 SAR画像

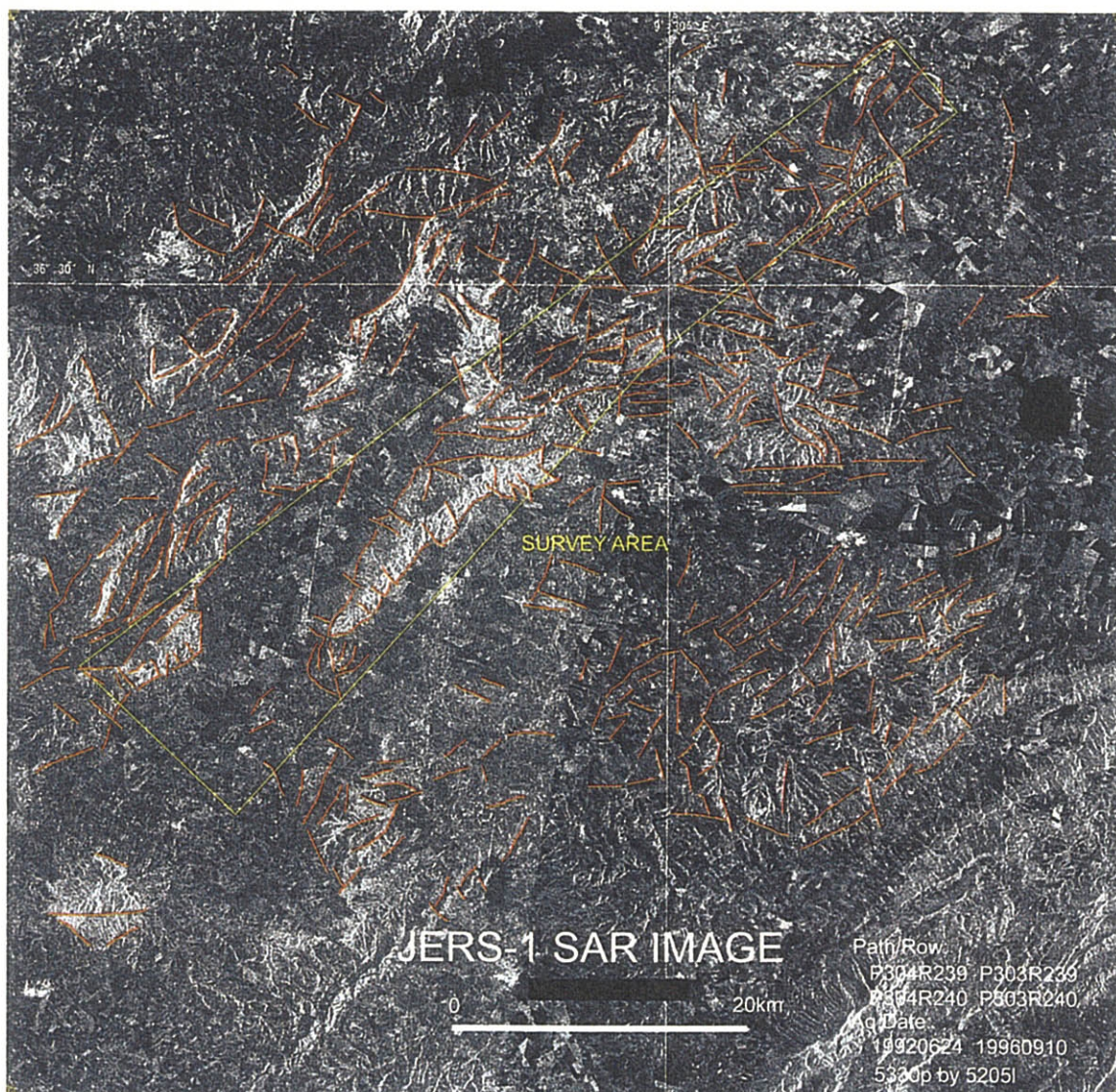


図15 リニアメント解析図

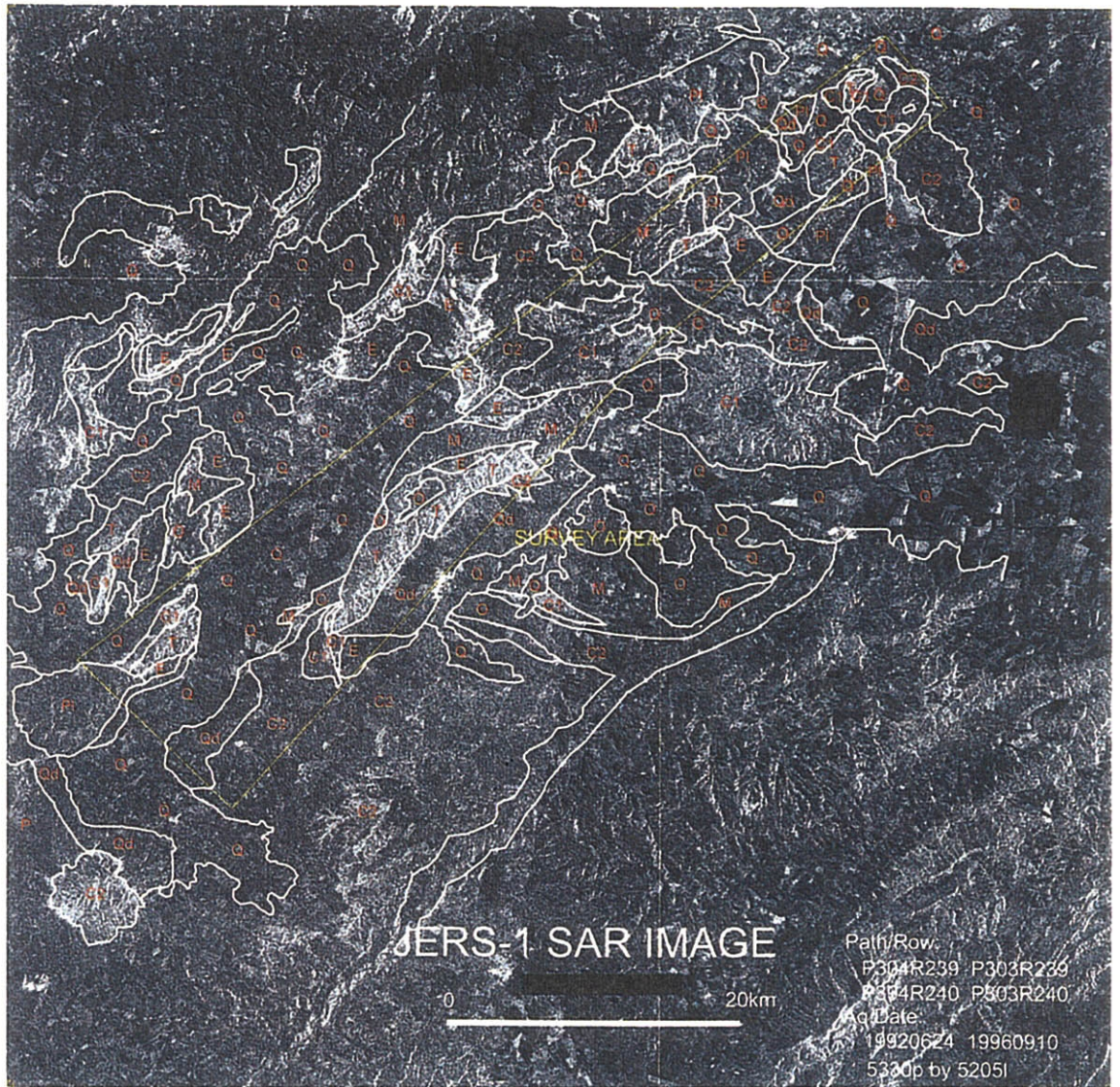


图16 地质单元区分图

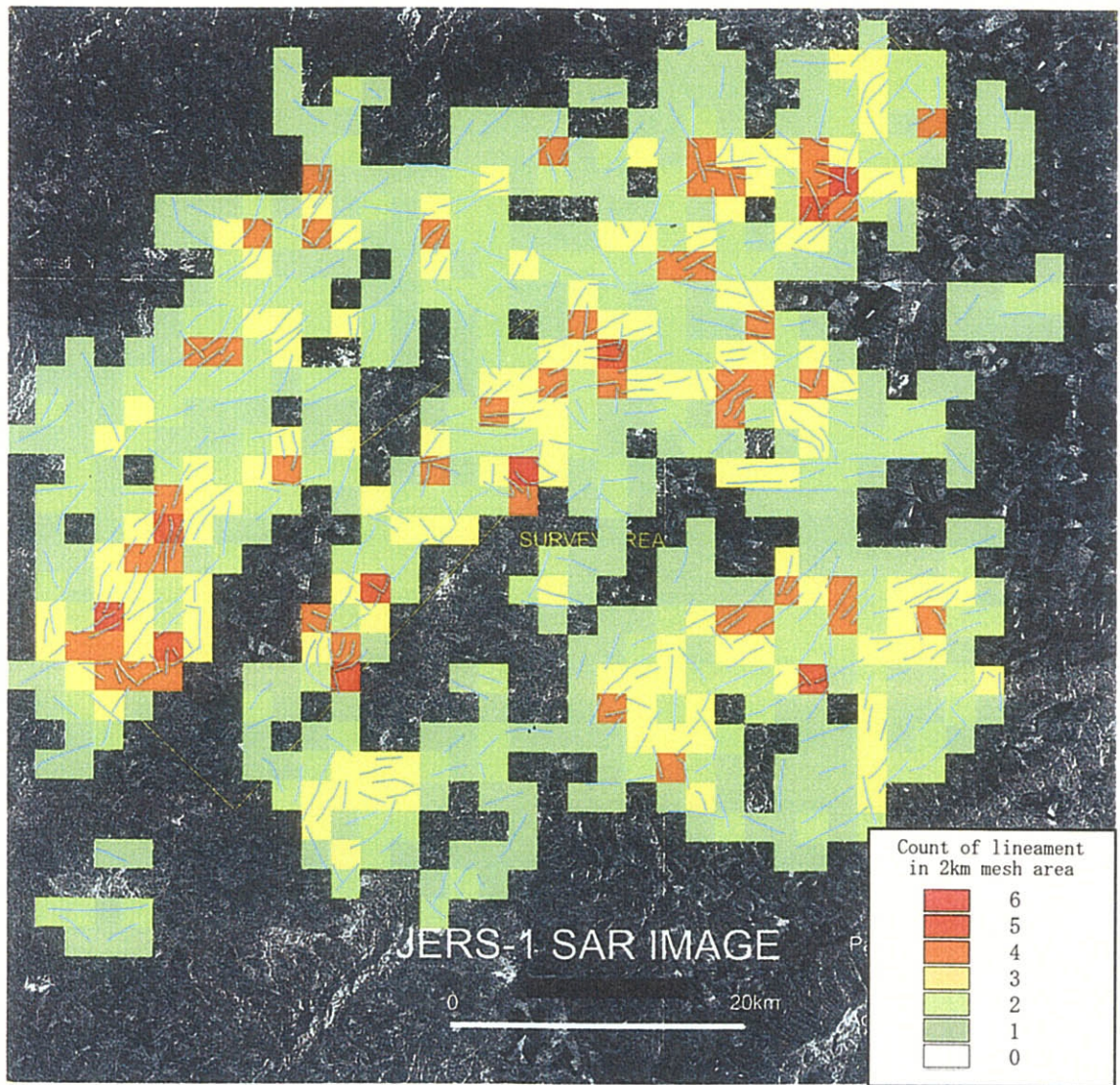


図17 リニアメント分布密度図

地表の形状情報しか反映しないことが原因であると考えられる。

図17にリニアメント分布密度図を示す。図17は2 kmメッシュ内のリニアメントの数を色分けしてリニアメント分布密度としたものである。図17を見ると大局的な地質構造を示す北東-南西系のリニアメントと局所的な地質構造を示す北西-南東系のリニアメントの交差部でリニアメント分布密度が高くなる傾向が見られる。本年度の地質調査地区であるブキル地区、ラクワット-アルグブ・アダマ地区、バジナ・ケビラ地区及びウェド・ジェブス地区にはリニアメントの高密度部分に対応する。

JERS-1 SAR画像のリニアメント解析結果から、アルプス造山の基本構造を示す北東-南西系のリニアメントと地向斜基盤の構造を示す北西-南東系のリニアメントの交差部が鉱床賦存の可能性が高いものと考えられる。

第2章 既存データ収集

既存データ収集はチュニジア鉱山公社所有の調査報告書を対象として、チュニジア鉱山公社の協力のもとに行われた。チュニジア鉱山公社によって多くの資料が開示され、その結果、地質調査に関する報告7資料、地化学探査に関する報告5資料、物理探査に関する報告3資料、鉱徴地調査に関する報告16資料及び年次報告2資料が収集された。収集された各種調査報告を基に、既存データ解析結果総括図を作成した(図140)。

2.1 地質・地化学探査資料

クリブ-メジェズ・エルバブ地域を含むチュニジア共和国全土の地質調査は、チュニジア鉱山公社によって現在も精力的に行われており、その成果は5万分の1地質図幅、10万分の1地質図、20万分の1地質図、50万分の1地質図及び100万分の1構造図にまとめられている。

本調査地域及びその周辺地域の地質については、Perthuisot(1979), Stranik et al.(1994), Dali(1995), Ben Haj Ali(1997), Mahjoub et al.(1997), Fakraoui et al.(1998)などが広域的に調査し、それぞれ5万分の1地質図幅として取りまとめている。

本年度は表14に示す5万分の1地質図幅6葉及び50万分の1地質図を収集した。

表14 収集資料一覧(地質調査関係)

Perthuisot, V.(1979) Carte géologique de la Tunisie, Echelle:1/50.000, Feuille n° 33 Tebourouk, Notice explicative: Republique Tunisienne, Ministère de L'industrie des Mines et de L'énergie, Direction des Mines et de la Géologie, Sous-Direction de la Géologie.
Stranik, Z., Biely, A. et Salaj, J.(1994) Notice explicative de la carte géologique de la Tunisie à 1/50.000, Oued Zarga, Feuille n° 26: Republique Tunisienne, Ministère de L'industrie, Office National Des Mines, Direction de la Géologie.
Dali, F.(1995) Notice explicative de la carte géologique de la Tunisie à 1/50.000, Gafour, Feuille n° 40: Republique Tunisienne Ministère de L'industrie, Office National des Mines, Direction de la Géologie.
Ben Haj Ali, M.(1997) Notice explicative de la carte géologique de la Tunisie à 1/50.000, Jendouba, Feuille n° 32: Republique Tunisienne Ministère de L'industrie, Office National des Mines, Direction de la Géologie.
Mahjoub, K., Hatira, N. et Taamallah, N.(1997) Notice explicative de la carte géologique de la Tunisie à 1/50.000, Les Salines, Feuille n° 45: Republique Tunisienne Ministère de L'industrie, Office National des Mines, Direction de la Géologie.
Fakraoui, M., Ghanmi, M. et Hatira, N.(1998) Notice explicative de la carte géologique de la Tunisie à 1/50.000, Nebeur, Feuille n° 39: Republique Tunisienne, Ministère de L'industrie, Office National des Mines, Service Géologique de Tunisie.
Republique Tunisienne, Ministère de L'économie Nationale, Office National des Mines, Département de la Géologie, Service Géologique National(1985) Carte Géologique de la Tunisie, Echelle 1:500.000

一方、鉱山開発を目的とした地化学探査が、沢砂を対象に3試料/k㎡の採取密度でチュニジア鉱山公社によって広域的に行われており、その調査結果は5万分の1地化学探査図として、5万分の1図幅地域ごとに取りまとめられている。

本年度の地質調査地区であるブキル地区、ラクワット-アルグブ・アダマ地区、バジナ・ケビラ地区及びウェド・ジェブス地区については、Guedria et al.(1989,1990,1991), Loukil(1991), Layeb(1997)などの調査報告がある(表15)。

表15 収集資料一覧(地化学探査関係)

Guedria, A., Aissa, L.B., Tagorti, M.A., Loukil, C. et Taloura, B.B.(1989) Interpretation des resultats de prospection strategique de la zone des domes, Feuille Teboursouk: Office National des Mines, Departement Laboratoire, Valorisation et Services de Géochimie.
———— (1990) Prospection Géochimique Strategique de la Feuille de Gaafour au 1/50,000: Office National des Mines, Departement Laboratoire, Valorisation et Services de Soutien Service Géochimie.
———— (1991) Prospection Géochimique Strategique de la Feuille de M'jez El Bab: Office National des Mines, Departement Laboratoire, Valorisation et Services de Soutien Service Géochimie.
Loukil, C.(1991) Jebel Ech-Cheid prospection geochemique tactique: Office National des Mines, Service de Géochimie(GEO 63/91 In).
Layeb, M.(1997) Synthese geologique et géochimique des series de couverture de la structure diapirique de J. Ech-Cheid secteurs retenus favorables pour la recherche des metaux de base: Office National Des Mines, Direction de la Recherche Miniere Division Inventaires, Projet Recherche D'anomalies.

2.2 物理探査資料

チュニジア鉱山公社は重力探査にも力を注いでおり、広域重力探査を1測点/k㎡の測定密度でチュニジア共和国全土を対象に実施している。その成果は5万分の1広域重力図として、5万分の1図幅地域ごとに取りまとめられている。

本年度の物理探査地区であるブキル地区及びラクワット-アルグブ・アダマ地区については、Jean-Claude(1999)に5万分の1Gafour地域広域重力図として取りまとめられている。

また、本調査地域内のArgoub Adama鉱徴地及びBazina鉱徴地では、電気探査が行われており、その結果はチュニジア鉱山公社の調査報告としてまとめられている(表16)。

表16 収集資料一覧(物理探査関係)

Jean-Claude, G.(1999) Expertise des leves gravimetriques CG-01 et CG-02.(Zone des Domes Tunisie): Office National des Mines de Tunisie.
Office National Des Mines De Tunisie(1996) Leve de polarisation provoquee Campagne 96, Prospect Argoub Adama, Repport Intermediaire.
Office Nationale Des Mines De Tunisie(1996) Leve de polarisation provoquee, Prospect Bazina, Repport Intermediaire.

2.3 鉍徴地調査資料

本調査地域には休止鉍山及び小規模採掘跡を含め18箇所の鉍徴地が知られている(図18, 表17)。それらの鉍徴地の概要はチュニジア鉍山公社によって、5万分の1図幅地域ごとに取りまとめられている(表18)。

表17 既知鉍徴地一覧表(クリブ-メジェズ・エルバブ地域)

No.	鉍徴地	主要鉍種	鉍化作用	母岩(時代)
1	Jebel Bou Mouss	Pb·(Ba)	脈状	石灰岩・泥灰岩(白亜紀後期)
2	Dar Chebka	Pb·Zn	レンズ状	泥灰岩・石灰岩(始新世)
3	Kef Lasfar	Pb·(Zn)	脈状	石灰岩(白亜紀後期)
4	Oued Jebes	Zn·Pb	層状	石灰岩(三畳紀-白亜紀後期)
5	Assioud	Pb·Ba	裂か充填状	石灰岩・砂岩(白亜紀前期)
6	Siliana	Fe·Pb·Ba	脈状	石灰岩・泥灰岩(白亜紀前期)
7	Mahjoubia	Pb·Zn	脈状・鉍染状	角礫岩・泥灰岩(三畳紀-白亜紀前期)
8	Ain Younes	Pb	脈状	砂岩(白亜紀前期)
9	Jebel Chetlou	Pb	脈状・層状	砂岩・石灰岩(始新世)
10	Koudiat Tlilet	Pb	鉍染状	角礫岩(白亜紀後期-始新世)
11	Koudiat Soda	Pb	脈状・層状	砂岩・泥灰岩(白亜紀後期-始新世)
12	H'Zamel Assoued	Pb	層状	砂岩・泥灰岩(白亜紀前期)
13	Koudiat Safra	Pb	層状	砂岩・泥灰岩(白亜紀後期-始新世)
14	Koudiat Bazina Kebira	Pb·(Zn)	裂か充填状	石灰岩(始新世)
15	Argoub Adama	Pb·Zn	鉍染状	泥灰岩・石灰岩(三畳紀-白亜紀後期)
16	El Akhouat	Zn·Pb	脈状	石灰岩・泥灰岩(白亜紀後期)
17	Jebel Ouiba	Pb	脈状	泥灰岩・泥岩(白亜紀後期)
18	Bou Khil	Pb·Zn	塊状	ドロマイト化角礫岩(三畳紀-白亜紀後期)

本調査地域には鉛亜鉛鉍化作用と関連するダイアピルが分布し、それぞれJebel El Mourra, Jebel Ech Chied及びJebel Bou Khilと呼ばれている(図18)。これらのダイアピルと鉍徴地の関係はHammami(1996)にまとめられている。

表18 収集資料一覧(鉍徴地概査関係)

Cooperation ONM-BRGM(1982-1985) Projet zone des domes, Inventaire gitologique, Feuille au 1/50.000 Gafour: Office National Des Mines, Bureau de Recherches Geologiques et Minieres.
Cooperation ONM-BRGM(1982-1985) Projet zone des domes, Inventaire gitologique, Feuille au 1/50.000 Medjez El Bab: Office National Des Mines, Bureau de Recherches Geologiques et Minieres.
Cooperation ONM-BRGM(1982-1985) Projet zone des domes, Inventaire gitologique, Feuille au 1/50.000 Teboursouk: Office National Des Mines, Bureau de Recherches Geologiques et Minieres.
Hammami, M.(1996) Donnees geologiques, gitologiques, geochemiques de l'alignement J. Ech Cheid-J. El Mourra(Teboursouk-Medjez El Bab). Volume 3:D-Donnees gitologiques: Office National Des Mines, Division Inventaires, Projet: Recherche D'anomalies.

鉛徴地に対する詳しい調査はOued Jebes, Kouidiat Soda, Kouidiat Safra, Argoub Adama, El Akhouat, Jebel Ouiba, Bou Khilなどで、チュニジア鉛山公社によって行われており、その結果は表19に示す調査報告にまとめられている。また、Hammami(1993)はJebel Ech Cheidダイアピル南東方に分布する有望鉛徴地として、Kouidiat Soda, Kouidiat Safra, El Akhouat及びArgoub Adamaをあげている。

表19 収集資料一覧(鉛徴地精査関係)

Chikhaoui, M., Hatira, N., Khalfaoui, A. et Hamouda, A.(1993) Etude geologique et geochemique du prospect de L' oued Jebes, secteur de Mejez El Bab resultants et proposition de sondages: Association ONM-MG Centre Zitoua, Le Kef.
Sellami, A.(1995) Etude geologique preliminaire du secteur de Argoub Adama(Feuille au 1/50.000 de Gaafour)(Phase Tactique): Office National Des Mines, Direction de la Recherche Miniere, Division Prospection.Projet Fej Lahdoum-Thibar.
Hammami, M. et Mansouri, A.(1989) Mine de Lakhouat etudes geologiques, prospection geochemique et geophysique et reconnaissance par sondages O.N.M.-1986-1988: Office National Des Mines, Division Miniere du Nord Subdivision de Beja(ONM. GMX SB. 89_02).
Hammami, M.(1993) Travaux de recherche effectues sur le flanc est du Jebel El Akhouat: Office National Des Mines, Direction de la Recherche Miniere, Division Inventaire.
Sellami, A. et Chikhaoui, M.(1996) Etude geologique du secteur de Jebel Ouiba(Region du Krib)(Feuille au 1/50.000 de Gaafour): Office National Des Mines, Direction de la Recherche Miniere, Division Prospection.Projet Fejlahdoum-Thibar.
Snoussi, S.(1987) Jebel Boukhil, Etude geologique et miniere: Office National des Mines.
Mansouri, A.(1988) A propos de l' ancien gite zincifere de Bou K' hil, Principaux resultats d' une synthese de travaux anterieurs, Proposition de travaux complementaires.
Mansouri, A. et Sellami, A.(1989) Division Miniere du Nord Subdivision de Beja, Gisement de Bou Khil, Secteur de la "Colonne Dante", Synthese geologique et evaluation des reserves: Office National des Mines, ONM. GMX SB.
Mansouri, A. et Sellami, A.(1990) Division Miniere du Nord Subdivision de Beja, Bou K' hil Travaux D' exploration, Situation de la reconnaissance potentiel minier et perspectives Zn.Sr.Pb: Office National des Mines.
Sellami, A.(1990) Fiche Signaletique sur les travaux de recherches minierees realises a Bou K' hil Jusqu' au mois d' avril 1990: Office National Des Mines, subdivision de Beja.
Sellami, A. et Mansouri, A.(1993) Les travaux de recherche realises a Bou K' hil (Principaux resultats de la campagne de sondage 1992-1993): Office National des Mines, Departement de Gites Mineraux Service Prospection Miniere et Exploration.
Hammami, M.(1993) Mise au point sur les travaux tactiques realises sur le flanc est du Jebel Ech Cheid: Office National des Mines, Direction de la Recherche Miniere, Division Inventaire.

そのほか、チュニジア鉱山公社の年次報告(1989, 1990)には、本調査地域に関するチュニジア鉱山公社の調査結果がまとめられている(表20)。

表20 収集資料一覧(年次報告関係)

Mansouri, A.(1989) Division Miniere du Nord Subdivision de Beja, Rapport Annuel 1988: Office Nationale Des Mines, ONM. GMX.SB.89.01.
Mansouri, A.(1990) Division Miniere du Nord Subdivision de Beja, Rapport Annuel 1989: Office Nationale Des Mines, ONM. GMX.SB.90.01.

第3章 ブキル地区

3.1 写真地質解析

写真地質解析は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、ブキル地区における断層、線構造、層理などの詳細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われた。解析対象範囲は25km²である。表21に使用空中写真を示す。

表21 使用空中写真一覧(ブキル地区)

地 区	写 真 番 号	枚 数	備 考
ブキル	1368-1371, 1348-1347	6	Project:74TU359/250UAG412

本地区では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。これらのリニアメントは主に北東-南西方向、北西-南東方向、東西方向であり、北東-南西方向のリニアメントが最も多い。層理構造を示すと推定されるリニアメントは白亜系、第三系及び三畳系分布域に認められた。これらのリニアメントは白亜系分布域では、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～東西方向を示し、三畳系分布域では北東-南西～東西方向を示す(図19)。

3.2 地質調査

3.2.1 調査方法

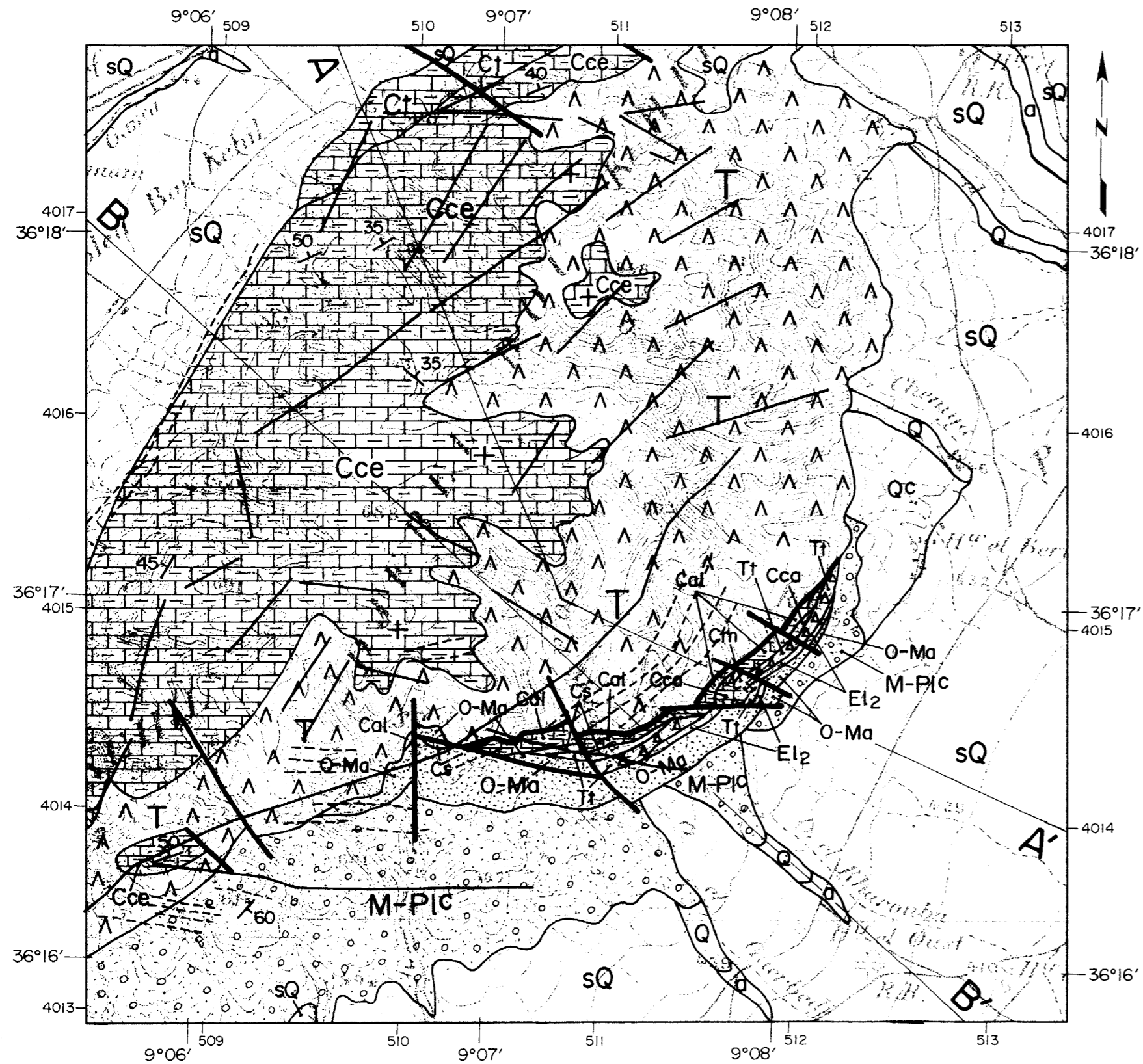
地質及び地質構造と鉱化作用の関係を把握するとともに、鉛亜鉛鉱化作用に関連するドーム構造を明らかにすることを重点課題として実施した。

踏査に当たっては、原則として物理探査の測線沿いを踏査ルートとし、縮尺5千分の1のルートマップを作成した。この際、縮尺5万分の1の地形図を縮尺5千分の1に拡大した地形図及び縮尺2万5千分の1の航空写真を利用し、測線ルートを補完するために一部の沢を踏査した。試料の採取に当たっては、代表的な岩石及び鉱石並びに地質層序及び構造を把握するのに必要な岩相を選んで採取した。

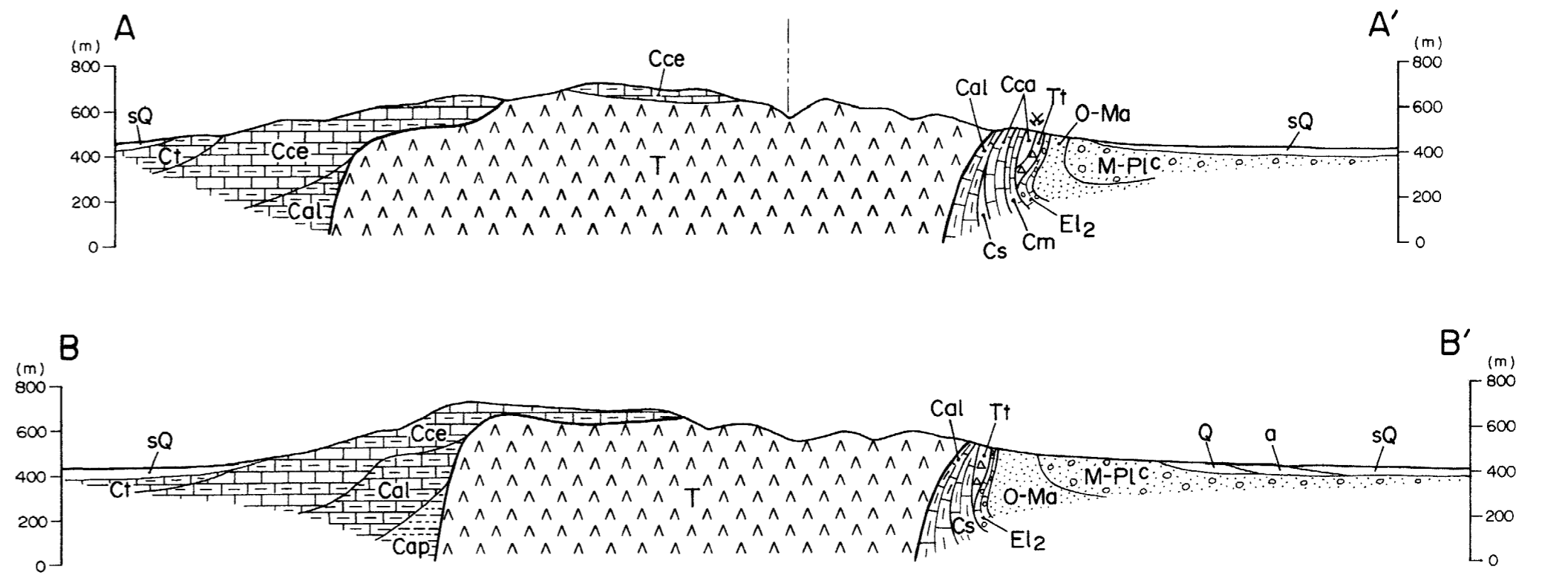
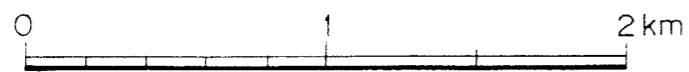
地質調査の結果は縮尺2万5千分の1の地質概略図及び地質断面概略図(図19)にまとめた。採取した試料は岩石薄片及び鉱石研磨片の顕微鏡観察、X線回折試験及び化学分析に供した。

3.2.2 地質概要

ブキル地区はJebel Bou Khilダイアピル岩体を含む5 km×5 kmの地区である。地質層序は下位より、三畳系、白亜系、第三系及び第四系からなる。本地区の地質概略及び地質断面概略図を図19、地質模式層序を図20に示す。



Scale 1 : 25,000



LEGEND

Quaternary	Holocene	a	gravel, sand, clay
	Pleistocene	sQ	soil
	Pleistocene	Qc	calcareous conglomerate
	Pleistocene	Q	siltstone, conglomerate
Tertiary	Miocene ~ Pliocene	M-PIC	sandstone, conglomerate, marl, sand, clay
	Oligocene ~ Miocene	O-Ma	sandstone
	Eocene	El2	limestone, conglomerate

Cretaceous	Maastrichtian	Cm	marl, limestone
	Campanian	Cca	limestone
	Santonian	Cs	marl, limestone
	Turonian	Ct	limestone, marl
	Cenomanian	Cce	limestone, marl
	Albian	Cal	limestone, marl
Cretaceous	Aptian	Cap	marl, sandstone
	Triassic	Tt	Transition zone dolomite, calcite, marl, celestite, gypsum, clay, sandstone, dolomite, limestone

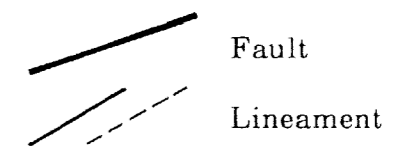


图19 ブキル地区 地質概略図及び地質断面概略図

三畳系は石膏，粘土，ドロマイト，マール，石灰岩，泥岩，砂岩からなる。ダイアピリズムによりこれらの堆積岩の堆積構造は非常に乱れており，小さな褶曲及び過褶曲や様々な規模とセンスの断層が随所で認められ，地層の連続性は悪い。局所的にある岩相が卓越することはあるが，大局的には不均質で，各岩相が互層状～小ブロック状をなす。比較的軟質なマール，泥岩及び石膏は浸食を受け，より硬質なドロマイト，石灰岩及び砂岩が層状かつ凸状の露頭をしばしば形成する。ダイアピリズムによりダイアピル南東側は白亜系及び第三系と接するが，北西側は白亜系に覆われる。ダイアピル岩体の南東側には，三畳系と推定される層状の地層が白亜系と第三系の間に挟在する。本地層はキノコ状を呈するダイアピル岩体の傘部と考えられている(Perthuisot, et. Al., 1999)。

白亜系は下位より，アルビアン階の泥岩及び石灰岩，セノマニアン階の泥質石灰岩，チューロニアン階の石灰岩，サントニアン階の石灰岩，カンパニアン階の石灰岩，マーストリヒチアン階のマールからなる。白亜系は三畳系ダイアピルを覆いダイアピル北西側に広く分布するものとダ

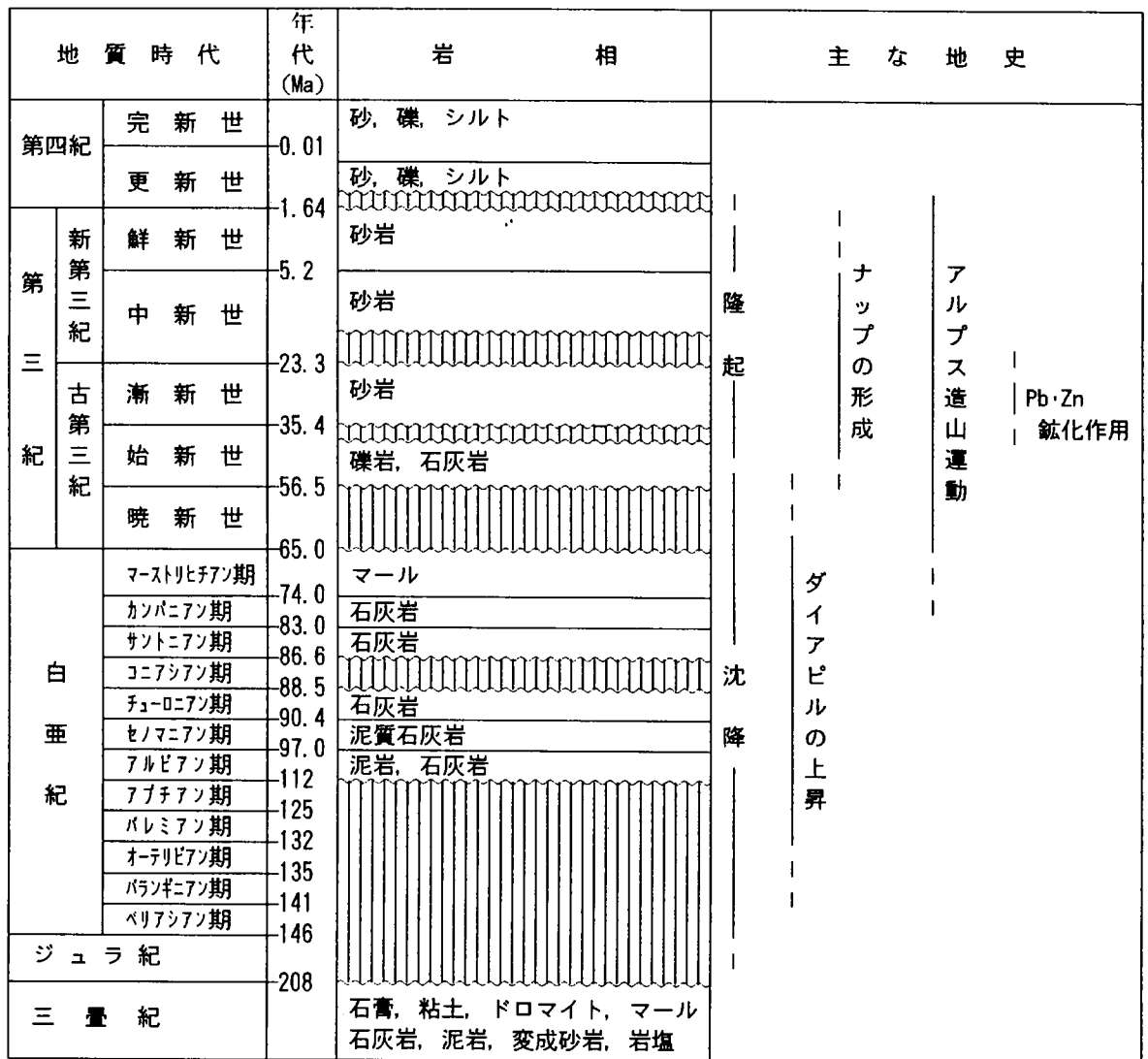


図20 ブキル地区地質模式層序図

ディアピル南東側にレンズ状に分布するものに分けられる。前者はアルビアン階、セノマニアン階、チューロニアン階からなり、主にセノマニアン階が三畳系を直接覆う。後者はアルビアン階、セノマニアン階、サントニアン階、カンパニアン階、マーストリヒチアン階からなり、アルビアン階が三畳系と接する。アルビアン階の泥岩は暗灰色～暗緑灰色を呈し、風化により小片化しており、石灰岩はベレムナイト化石を含む。セノマニアン階は塊状の石灰岩と層理を有するマールの互層である。チューロニアン階の石灰岩は新鮮なものは特徴的に黒色を呈し、Bahloulとチュニジア特有の名称で呼ばれる。サントニアン階の石灰岩は灰白色を呈し塊状である。カンパニアン階の石灰岩はBou Khil鉱床の鉱床胚胎母岩であり、灰白色を呈し、塊状又は弱い層理を示す。マーストリヒチアン階の泥灰岩は灰白色を呈し弱い層理を有する。

第三系は下位より、始新世の礫岩及び石灰岩、漸新世の砂岩、中新世の砂岩、鮮新世の砂岩からなる。第三系はディアピル岩体の南東側から西側にのみ分布する。始新世の礫岩は第三紀の基底礫岩であり、構成礫は三畳系及び白亜系の岩片である。始新世の石灰岩はヌムリテス化石を大量に含む。漸新世から鮮新世の砂岩は陸成層であり、多孔質で弱固結した粗粒砂岩又は細粒礫岩で、構成粒子のほとんどが円磨された石英である。

第四系は石灰質礫岩、礫、砂、泥などの沖積層及び沖積土からなる。Bou Khil山体の裾野は沖積土であり、畑地として利用されている。

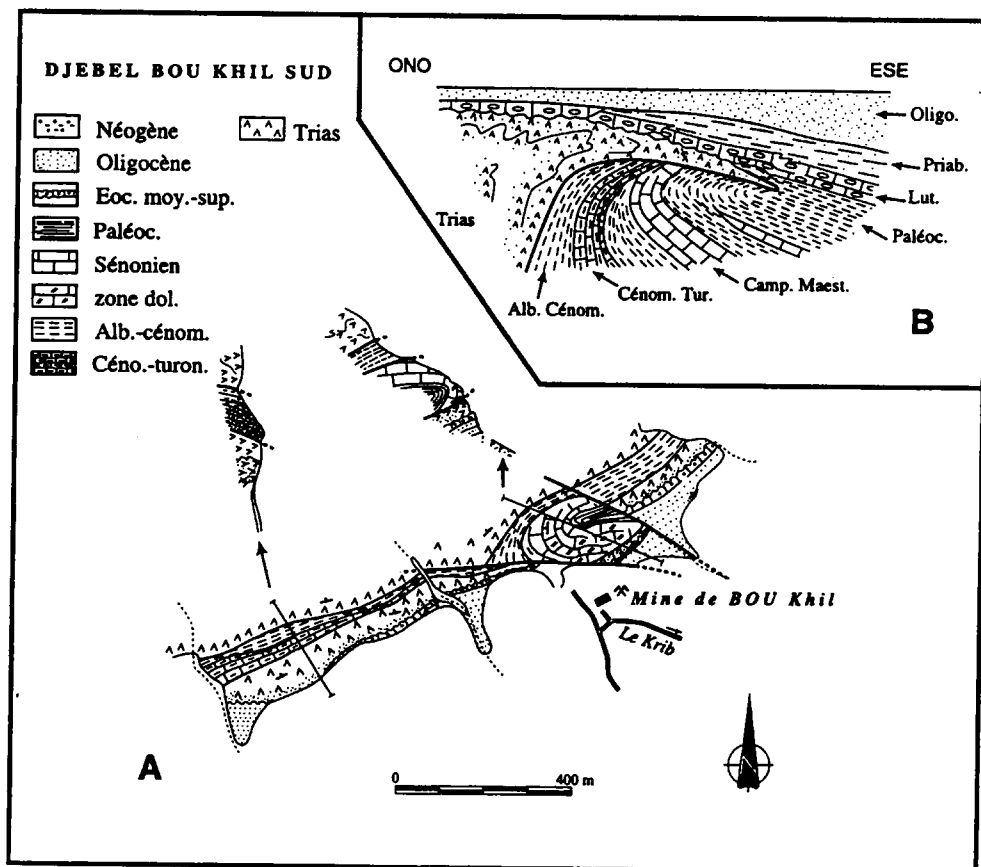
3.2.3 地質構造

ディアピル岩体の横断面はキノコ状を呈し、岩体頂部から北西部は白亜系に覆われているが、南東部はキノコの傘部に相当し白亜系～第三系を覆う。三畳系の構造は非常に乱れており、系統的な堆積構造は認められない。ディアピル北西側の白亜系は北東-南西走向で30～50°の北西傾斜を示し、山体中央でディアピル頂部を覆う白亜系はほぼ水平を呈する。Jebel Bou Khilディアピルの北西に位置するFedj El Adoumディアピルとの間には白亜系のバレミアン階からマーストリヒチアン階までが連続して堆積しており、両ディアピルの間に白亜系の向斜構造が存在する。Jebel Bou Khilディアピルの北西側の白亜系はこの向斜構造の南東翼に相当する。ディアピリズムは白亜系の堆積とともに進行し、ディアピル周辺では白亜系の層厚は薄く、ディアピルの間に白亜系の堆積盆が形成されていった。一方、ディアピル南東側の白亜系は北東-南西～東北東-西南西走向で、垂直層又は逆転層となっている。これはディアピリズムに伴い白亜系が捲れ上がったために生じた現象である。ここでは第三系も同様の走向を示し、垂直～急傾斜となっている。ディアピル南東部では、三畳系、白亜系及び第三系の地層は北西-南東～西北西-東南東系の横ずれ断層で切られて転移している。一般に、白亜系の地層は層厚の変化に富み、特に石灰岩は連続性が悪く、横ずれ断層で画されたブロックによって層序が変化する。

Jebel Bou Khilディアピルの地質及び地質構造はチュニジア鉱山公社(Snoussi, Mansouri, Sellamiなど)により精力的に調査され幾つかの報告書がまとめられている。Perthuisot et al.

(1999)により公表されたモデルを図21に示す。これらのモデルによる構造発達史は次のとおりである。白亜紀中期にはダイアピリズムが始まり、白亜紀末期から第三紀初期にかけてダイアピルは白亜系を突き抜けて地表又は浅海底に出現し、キノコ状のダイアピルを形成した。この際、ダイアピルの縁の一部は側方に流れて白亜系を覆い、三畳系周囲の白亜系は逆転層となった。古第三紀始新世から漸新世にかけて、ダイアピルはそれらの堆積物に覆われた。漸新世に再びダイアピリズムが活発化し、新第三紀には三畳系が再び地表に出現して漸新統を覆い、古第三系及び新第三系が垂直に近い急傾斜層となった。この運動により、初期に形成されていたダイアピルのキノコ傘部は内側に大きく畳み込まれた。第四紀にこの傘部の上部が浸食作用により削剥された結果、現在のようなダイアピル本体と層状の部分が分離した。なお、ダイアピル本体の南東側にある層状の三畳系は便宜的に漸移帯(Transition Zone)と呼ばれており、ドロマイト、泥岩及び石灰岩からなる。漸移帯と呼ばれる岩相は層状の部分だけでなく、三畳系ダイアピルと他の地層との境界部にも存在する。

ブキル地区南西部(物探測線 B1付近)では、三畳系ダイアピルは漸新統と接しており、漸新世及び中新世の砂岩は逆転層となっている。三畳系の縁部にはアルビアン階と考えられる泥岩の岩



The Bou Khil diapir [from Perthuisot et al., 1987, modified]. A: geological map of the south flank; B: reconstruction of the diapir structure during Oligocene times.

図21 ブキル地区のダイアピル構造と地質(Perthuisot et al., 1999)

塊が取り込まれていることから、三畳系境界部の地下には白亜系が存在していると推定される。また、三畳系からやや離れた所に断層を介して白亜系の石灰岩層がレンズ状に存在する。第三系及び白亜系は東北東-西南西走向を示す。三畳系の境界は不規則で、一部では石膏に富む地層が漸新統及び中新統を中程度の傾斜で覆う。断層は南北南-東南東系と北北東-南南西系が発達し、一部では走向断層も存在し複雑な地質構造を呈する。

物探測線B2付近は、三畳系アルビアン階の泥岩-セノマニアン階の石灰岩及びマール-三畳系漸移帯の頁岩及びドロマイト-漸新世の砂岩-中新世の砂岩という層序を示す。西南西-東南東系の断層が発達する。測線B1とB2が位置するブロックでは、始新統が欠如する。

ブキル旧鉱山の南西側ブロック(物探測線B3付近)は、三畳系-アルビアン階の泥岩-サントニアン階の石灰岩-三畳系漸移帯のセレスタイト鉱体、頁岩及びドロマイト-始新世の礫岩及び石灰岩-漸新世の砂岩-中新世の砂岩という層序を示す(図22)。白亜系及び第三系は東北東-西南西走向を示す。セレスタイト鉱体は三畳系漸移帯中の白亜系の境界部側に賦存する。始新統は三畳系の上位に直接堆積したもので、一部に角礫化帯が認められるが、始新統と三畳系の接触関係はもともとは断層などの構造的なものではないと考えられる。

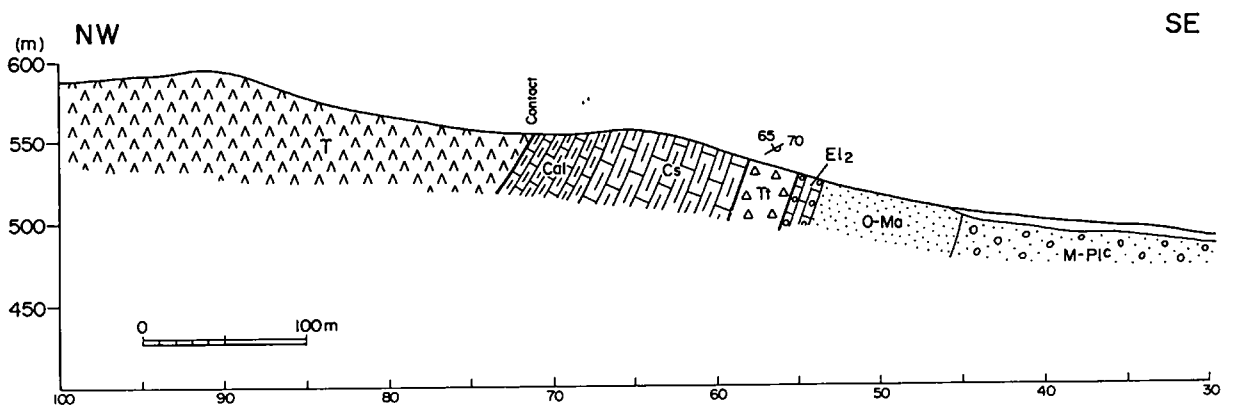


図22 B3測線地質断面図(ブキル地区)

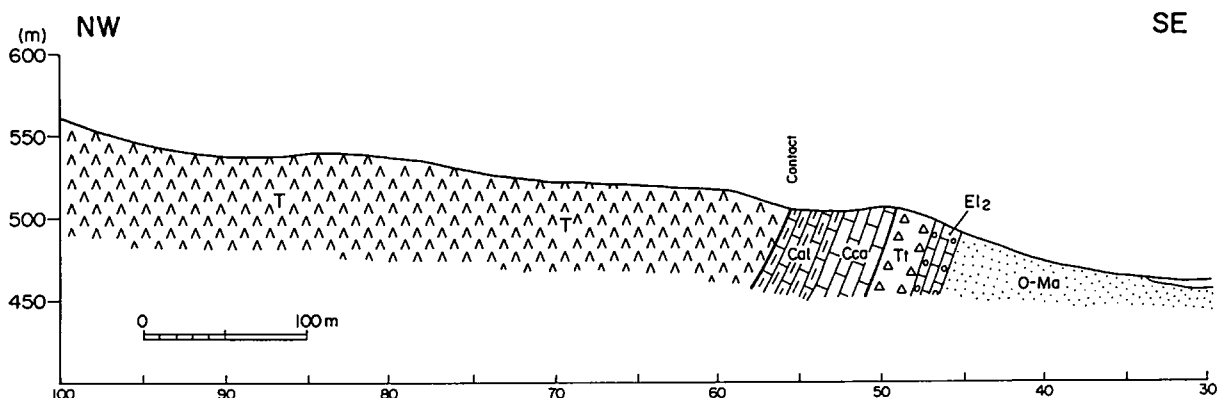


図23 B5測線地質断面図(ブキル地区)

ブキル旧鉱山のブロック(物探測線 B 4付近)では、三畳系-アルビアン階の泥岩及び石灰岩カンパニアン階の石灰岩-マーストリヒチアン階のマール-三畳系漸移帯の頁岩及びドロマイト-始新世の礫岩及び石灰岩-漸新世の砂岩-中新世の砂岩という層序である。カンパニアン階の石灰岩とマーストリヒチアン階のマールは過褶曲しており、三畳系漸移帯と実際に接するのはカンパニアン階の石灰岩である。鉛亜鉛鉱床は三畳系漸移帯と接するカンパニアン階の石灰岩中に胚胎する。白亜系及び第三系は東北東-西南西～北東-南西走向を示し、逆転層となっている。

ブキル旧鉱山の北東側ブロック(物探測線 B 5付近)では、三畳系アルビアン階の泥岩-(カンパニアン階の石灰岩)-三畳系漸移帯の頁岩及びドロマイト-始新世の礫岩及び石灰岩-漸新世の砂岩-中新世の砂岩という層序である。カンパニアン階の石灰岩はレンズ状岩体で、上下位とは共に走向断層で接している(図23)。

ブキル地区東部(物探測線 B 6付近)では、三畳系は傘状に側方に拡がり漸新世の砂岩を直接覆っており、白亜系は露出しない。

以上のように、ブロックにより白亜系の層序が異なる原因として、ダイアピルの上昇に伴い白亜系の層厚の側方変化が大きくなったこと、ダイアピル上昇の動きに引きずられて白亜系の地層が捲れ上がる際に石灰岩などがブロック化したことなどが考えられる。

3.2.4 鉱化作用

ブキル鉱山はGafourの西南西方約20km、北緯36° 16' 40'、東経9° 07' 53'、海拔500m付近の丘陵部に位置する。ブキル鉱山については、鉱山東方約10kmに位置するラクワット鉱山の鉱量枯渇に伴い、旧坑が存在するブキル地区で、旧坑周辺又は深部に採掘可能な鉱床が賦存している可能性が考えられ、ONMによって1985年から各種調査が実施された。

1989年から始まったボーリング調査で鉱床が確認され、引き続き行われたボーリング調査(総掘進長1,500m)の結果、ブキル鉱山は現在では既採掘鉱量40万トン(品位Pb+Zn10%)、推定鉱量120万トン(品位Pb+Zn10%)の中規模鉱床となっている。

鉱床は三畳系ダイアピルのキノコ傘部(漸移帯)内側と白亜紀後期カンパニアン階石灰岩の境界部に胚胎する。鉱化作用は三畳系漸移帯の一部にも及んでいるが、鉱体のほとんどは三畳系漸移帯に接する石灰岩中に賦存する。鉱床の形態は石灰岩の層理に平行な層状～レンズ状の鉱体及び石灰岩の割れ目を充填する細脈～網状脈である。鉱石鉱物は方鉛鉱-閃亜鉛鉱-黄鉄鉱、脈石鉱物は方解石-ドロマイト-セlestaitである。鉱床母岩となる石灰岩はドロマイト化作用を受けており、上位側(ここでは三畳系漸移帯側)ほどドロマイト化は強くなっている。既存の坑道及びボーリングで確認されている既知鉱床の規模は、走向延長約100m、傾斜延長100m以上、厚さ数m～20mである。本鉱体は前述の横ずれ断層で画されたブロック内だけに存在する。なお、既存鉱床の南西側ブロックでは三畳系漸移帯とサントニアン階の石灰岩が接しており、鉛亜鉛鉱化は認められないが、三畳系側にセlestait鉱床が胚胎する。セlestaitはブキル鉱床ブロックの

三疊系漸移帯でも認められるが量的に少ない。廃坑跡に存在するズリから試料を採取して分析に供した。分析結果を表22に示す。

表22 化学分析結果(Bou Khil 鉱床)

	Cu (ppm)	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)	Mn (ppm)	Cd (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Ag (ppm)
BHK09C	2.4	1.78	26.00	1.97	790	394.3	0.07	18.99	450.8	56.3	<0.3
BHK18C	36.1	3.50	12.60	1.05	1016	1218.4	2.30	21.99	418.4	115.4	38.9
BHK19C	1.5	0.77	7.60	9.17	1084	105.3	2.25	21.59	264.7	35.6	<0.3
BHK20C	11.2	0.87	8.30	1.51	314	4.1	1.88	30.79	586.1	140.3	<0.3
BHK12C	93.6	0.01	0.06	3.67	1668	<2.0	1.56	3.30	4.8%	121.9	<0.3

一般的な鉱化モデルは次のように考えられている。ダイアピルの上昇に伴い白亜系の堆積盆が形成され、白亜系の堆積に従い深部では圧密作用や地温上昇が生じて、金属元素及び炭化水素を溶解した層間水が堆積盆の縁の方へ側方移動しつつ上昇する。三疊系は岩塩中の塩水や石膏の脱水から生じる水などを多量に含み、これらの流体はダイアピリズムによって生じた断裂及び透水性の高い部分に沿って上昇する。三疊系ダイアピルと白亜系の境界部は一般に断層及び断裂が発達しており、高透水性となっている。したがって、両地層を移動する流体はこの境界に沿って上昇しやすくなり、双方の流体の混合も生じる。上昇した流体はダイアピルの頂部や側部などの空隙率が高い部分に鉱床を形成する。生成の場となるのは、高透水性の層準、断裂の発達した部分、構造的な空隙などである。さらに、ダイアピルより離れた部分であっても、流体が断裂などに沿って移動し、適当な物理化学条件下であれば鉱床は形成される。鉛、亜鉛、バリウムなどの金属元素の起源は、主に白亜紀堆積岩であるが、三疊紀蒸発岩も関与している。

一方、セlestait 鉱床は三疊系中の流体が運ぶストロンチウムが三疊系のキャップロック下に濃集して形成された(図24)。

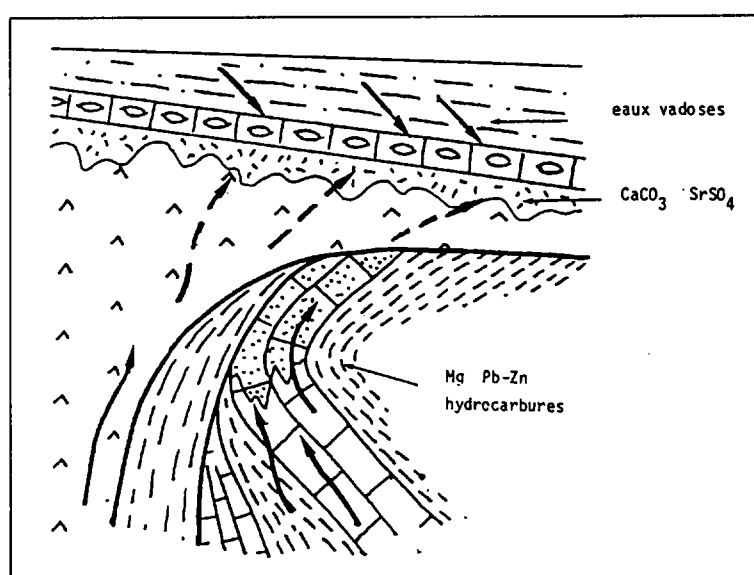


図24 ブキル地区の鉱化作用モデル (N. Hatira, et al., 1990)