

第4章 総合検討

本章では、本年度の調査結果を1,2年次の結果と合わせて解析して中央 Zalturbulak 地区と Akmola 地区で確認された鉍化帯の性状について記述する。

4-1 中央 Zalturbulak 地区

4-1-1 中央 Zalturbulak 地区の地質

Figure II -4-1-1 に Zalturbulak 地区全域の地質および地質断面図を、Figure II -4-1-1 には、Zalturbulak 地区のインデックス図を示す。

本地区の地質はオルドビス紀の火山岩類・堆積岩類とそれに貫入した花崗岩類およびその他の貫入岩類から構成される。各地層、岩体の特徴は以下のとおりである。

(1) オルドビス系

オルドビス系は本地区の基底を構成し、Zalturbulak 地区の東端部で南北方向に帯状を成して分布する。岩質は輝石安山岩質火山岩類を主体として碎屑性堆積岩類を伴う(露頭が少なく両者の詳細な分布状況は把握できていないので地質図では細分していない)。

安山岩質火山岩類は帯緑暗灰色の溶岩と火砕岩からなる。火砕岩は凝灰岩を主とし、粗粒の火砕岩はほとんど分布しない。

碎屑性堆積岩類は黒灰色、帯緑暗灰色などを呈すシルト岩と砂岩を主体とする。ラミナが発達する場合があります。この場合は安山岩類と容易に識別できるが、一般に塊状緻密質でかつ後の貫入岩によりフォルンフェルス化を受ける場合はあり、安山岩溶岩との区別は容易でない。

(2) 花崗岩類

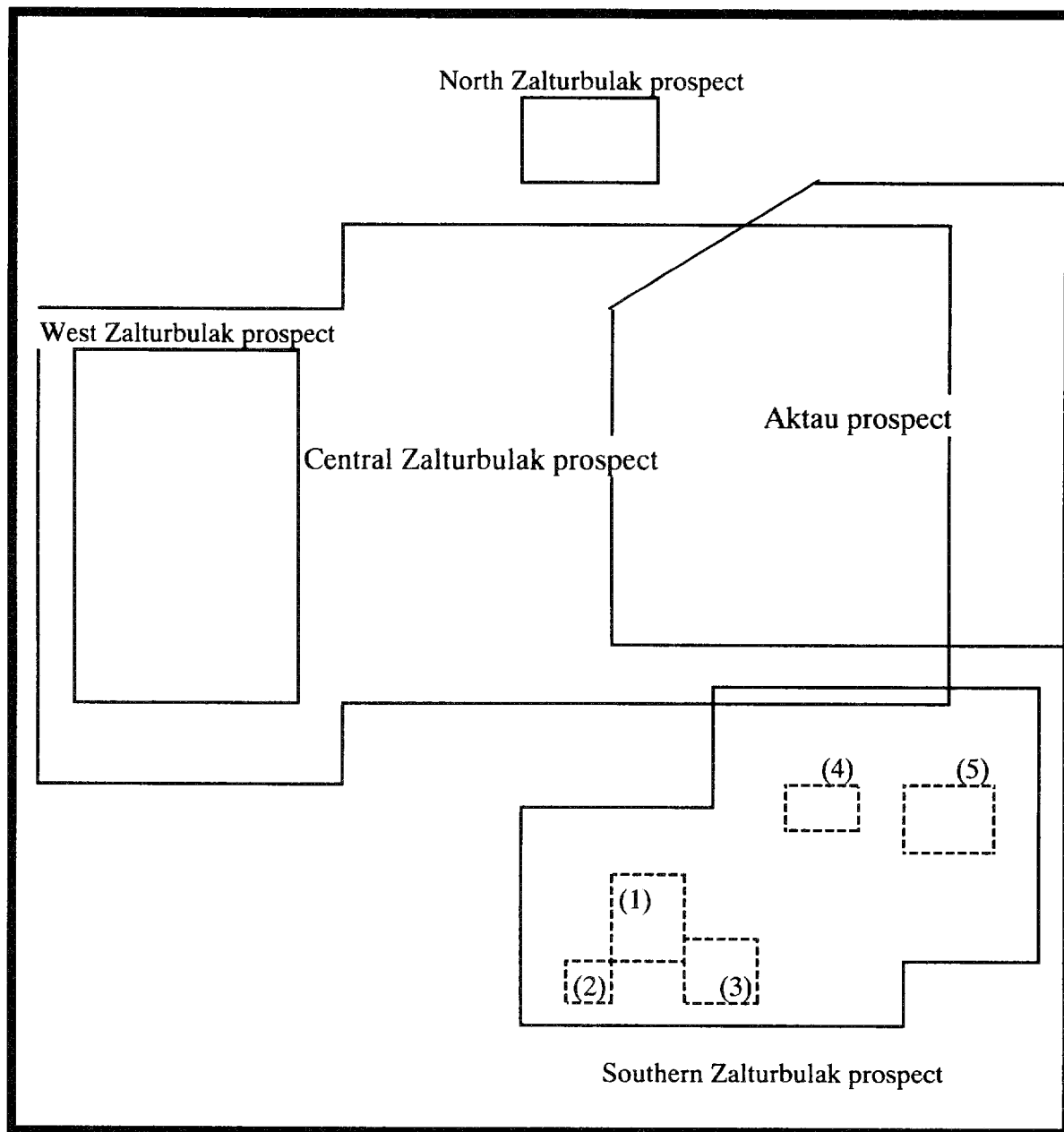
花崗岩類は Zalturbulak 地区の周辺地域に巨大なバソリスを成して広く分布する。本地区にはデボン紀～石炭紀に貫入した Karamendin コンプレックスに属する花崗岩類とデボン紀中期～後期の Terektin コンプレックスに属する花崗岩類が分布する。

1) Karamendin コンプレックス

Karamendin コンプレックスに属する花崗岩類のうち、本地区には黒雲母角閃石花崗閃緑岩(以下の記載では構成鉍物を強調するなど特別の理由がない限り花崗閃緑岩と呼ぶ)および角閃石黒雲母花崗岩(以下の記載では花崗岩と呼ぶ)が主に分布する。

花崗閃緑岩は Karamendin コンプレックスの主体をなす岩相で、Zalturbulak 地区の約 70% を占めて分布する。岩質は優白質の中粒岩を主体とし、一般に岩質の変化に乏しい。西 Zalturbulak 地区で採取した本岩から $328 \pm 16\text{Ma}$ および $297 \pm 15\text{Ma}$ の K-Ar 年代を得た(Appendix 11)。これらは石炭紀中期～後期の後期バリスカン変動時に対応する年代である。全岩化学分析(2 試料)では SiO_2 が 64.5～65.6%、 K_2O と Na_2O がそれぞれ 3.2～3.5%と 3.2～3.53%であった(Appendix 8)。ソビエト時代の科学アカデミーの SiO_2 と $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ に基づく岩石区分(Serykh, 1996)に従うと、この岩石はカルクアルカリ岩系の花崗閃緑岩の領域に入る。

花崗岩は Zalturbulak 地区の北部にまとまって分布する。桃色を帯びる優白質岩中粒岩を



- (1) Central Zalturbulak zone
- (2) Southwestern Zalturbulak zone
- (3) Eastern Zalturbulak zone
- (4) Northern Zalturbulak zone
- (5) Northeastern Zalturbulak zone

Figure II -4-1-1 Index Map of the Zalturbulak Area

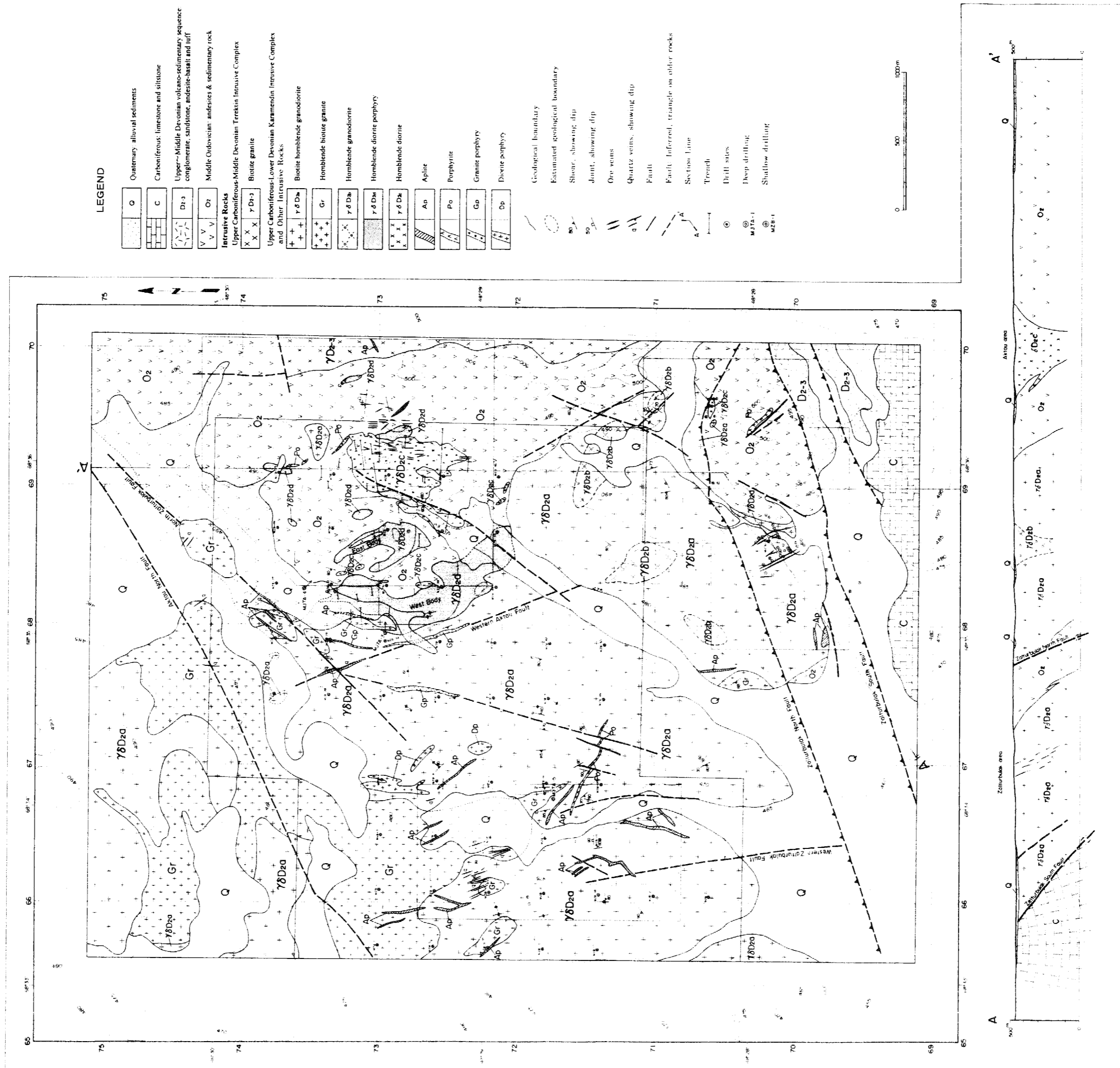


Figure II -4-1-2 Geological Map of the Zalturbulak Area

主体として細粒岩を伴う。Zalturbulak 北部にまとまった岩体が分布する。西部 Zalturbulak では、北部の岩体から SSE 方向に分岐したストック状岩体としても分布する。また、Aktau 西部では花崗閃緑岩中の小貫入岩としても認められる。西部 Zalturbulak で採取した本岩から $295 \pm 15\text{Ma}$ の K-Ar(全岩)年代を得ている。全岩化学分析(1 試料)では SiO_2 が 70.6%, K_2O と Na_2O がそれぞれ 2.7%と 3.5%であった(Appendix 8)。この分析値はカルクアルカリ岩系の花崗岩の領域である。以上の年代値や岩質・化学組成および地表における分布から本岩は巨大バソリスを成す花崗閃緑岩から分化して生成したものと推定される。

2) Terektin コンプレックス

Zalturbulak 地区の東端部にわずかに分布する。桃色を帯びる優白質岩中粒の黒雲母花崗岩から構成される。一般に塊状であるが片状構造が発達する場合がある。

(3)その他の貫入岩類

以上のほかに貫入岩類として角閃石閃緑斑岩、輝石角閃石閃緑岩、アプライト、ヒン岩岩脈および花崗斑岩などが認められる。これらのうち鉍化作用に関連するものとして角閃石閃緑斑岩(以下閃緑斑岩)、輝石角閃石閃緑岩(以下閃緑岩)が重要である。両者は岩質が類似していることや相互に隣接して分布することが多いことなどから成因的に関連しているものと考えられる。

閃緑斑岩は Zalturbulak 地区北東部のオールドビス系分布域と Karamendin コンプレックスの境界部付近で、長径 600m~1300m、短径約 300 の北北西-南南東に伸びる 2 岩体として分布する。このほかオールドビス系分布域には多数の小岩体が認められる。本岩は周囲の母岩にホルンフェルス化を与えている。灰黒色の緻密質岩で、細粒緻密質の完晶質な基質中に長径 1mm 以下の斜長石を約 20%含む斑状岩である。有色鉍物は少ないが、角閃石は通常含まれ、輝石や黒雲母も含まれる場合がある。本岩から $373 \pm 11\text{Ma}$ とデボン紀後期の年代を得た(JICA/MMAJ, 1998)。これは中央カザフスタンにおけるカレドニア造山の最終時相の年代にほぼ一致する年代である。全岩化学分析(1 試料)では SiO_2 が 63.4%, K_2O と Na_2O がそれぞれ 2.2%と 3.6%であった(Appendix 8)。上の花崗岩類の区分に従えば、この分析値はカルクアルカリ岩系の花崗岩閃緑岩と石英閃緑岩の境界部にあたる。

閃緑岩は Aktau 鉍微地で長径 800m、短径 400m の南北に伸びる岩体としてまとまって分布する。黒色を呈する細粒緻密質岩である。MJTA-4 で認められた閃緑岩も変質の程度がことなるだけでこの岩体とほぼ同じ岩質を示すことから本岩に含める。また、閃緑斑岩の分布域周辺部にいくつかの小岩体が認められる。分布状況や岩質の類似からは閃緑斑岩と閃緑岩の類縁性が暗示される。そこで、ここでは閃緑斑岩と閃緑岩がほぼ同時代の一連の貫入岩として議論を進める。

アプライトは地区の北部に主に分布する。細粒緻密質岩で幅数 m の岩脈として分布する。本岩は角閃石黒雲母花崗岩内またはその周囲に分布する 경우가多く、両者は成因的に関連し

ているものと考えられる。

4-1-2 断裂構造

本地区では NNW-SSE 系,ENE-SWS 系,NE-SW 系の断裂が認められる。

(1)NNW-SSE 系:この方向の断裂は比較的大規模なものから小断層にいたるまで本地区で最も卓越する。IP 異常の急変部として示されて,長大な花崗斑岩が貫入した Western Aktau 断層が代表的なものである。閃緑斑岩,西部 Zalturbulak のストック状花崗岩岩体もこの方向に伸長し,地下深部にこの方向の断裂が伏在している可能性がある。また多くのアプライト岩脈,石英脈もこの方向を示し,これらがこの系列の断裂を充填して生成したことを示す。なお,MMAJ-1,2 孔で観察された条線の多くは垂直成分が卓越した転移を示したことからこの系列の断層の多くは正断層系と考えられる。

(2)ENE-SWS 系:Zalturbulak 地区南部に分布する Zalturbulak South 断層,Zalturbulak North 断層がこの代表的なものである。これらの断層面は南傾斜で,断層を境に北側のデボン系または Karamendin コンプレックスに南側の石炭紀の堆積岩類が衝上していると推定される。本地区では北部 Zalturbulak 変質帯(JICA/MMAJ,1997)がこの系列の断裂に関連して生成したと推定される。

(3) NE-SW 系:この系列では North Zalturbulak 断層が代表的である。断層に沿いアプライトが貫入している。また,この付近の角閃石黒雲母花崗岩の分布も本断層に規制されているように見える。二年次に実施した岩石地化学探査では North Zalturbulak 断層の南側で NE-SW 方向を強くもつ銅および金の高濃度域が抽出された。この付近の等重力線の一般傾向もこの方向を示すことからこの付近に伏在する North Zalturbulak 断層の平行断層が銅および金の高濃度域をもたらしたものと推定される。線上に伸びる岩石地化学探査の異常を西から東に 70° の角度で掘削した MJTA-4 孔のコアでは,主断層と考えられる破碎帯は確認できなかったが,試錐孔との角度が 0~10° と 20~50° の無数の割れ目(多くは黄鉄鉱-石英脈)を観察した。本地区には一般に低角の割れ目は少ないので前者は東へ 10° ~20° 傾斜する割れ目を,後者は垂直~西に 30° 傾斜している割れ目と考えられる。North Zalturbulak 断層は西傾斜と推定されるので,後者が伏在する主断層の傾斜と想定される。

以上の断裂の成因は次のように解釈できる。すなわち,本地区はデボン紀後期(閃緑斑岩の年代で示される)以降,石炭紀までの長い期間にわたり基本的に NNW-SSE 方向の圧縮場にあった(第1部第3章)。この方向の圧縮場で NNW-SSE 系のエクステンション割れ目が生じた。エクステンション割れ目はいわば開いた割れ目であり貫入岩や熱水が容易に上昇したと想定される。また,NNW-SSE 方向の圧縮場は NNW-SSE 方向の逆断層を生じる場でもある。これにより生じたのが Zalturbulak South 断層,Zalturbulak North 断層である。

NE-SW 系断裂の成因はよくわからない。上の圧縮場では左横ずれ断層が期待できるが、North Zalturbulak 断層はむしろ右づれのセンスをもつ。Zalturbulak 全域をみると(Figure I-3-3-2 および Figure I-3-3-4)この方向性の断層にはテレクティンスキーアップリフト地域の北西部でデボン紀初期以前に形成したと想定される断層がある(第 I 部第 3 章 3 参考)。本地区に見られるこの系列の断層は古い構造が再動したものの可能性がある。

4-1-3 鉍化作用の特徴

本地区にはデボン紀後期に貫入した閃緑斑岩に関連して生成したと考えられる鉍染状銅鉍化作用と石炭紀後期に貫入した花崗岩に関連した鉍染状モリブデン-銅の鉍化作用が認められる。これらの鉍化帯は Aktau 西部地区と西部 Zalturbulak 地区に分布する。

ここでは本年度の試錐調査と 1 年次および 2 年次の調査結果を併せて考察して本地区の鉍化作用の特徴を明らかにする。Figure II-4-1-3 には試錐断面図を、Figure II-4-1-4 には調査総括図を、Table II-4-1-1 には鉍化帯総括表を示す。

(1) 閃緑斑岩による鉍化作用

1) 産状

この鉍化帯は Aktau 西部のオールドビス系中に分布し、Au と Cu の濃集を特徴とする。地表では平原中に散在する珪化帯とその周囲のプロピライト帯として認められる。試錐調査、地表踏査、岩石地化学探査により今までに確認された鉍徴は南北に伸張する閃緑斑岩岩体の北半部から NE-SW 方向に伸びた帯状の部分に集中している(Figure II-4-1-4)。

鉍化作用の主体は石英-セリサイト変質に関連して起こり、多量の黄鉄鉍を伴う鉍染状黄銅鉍および黄鉄鉍-石英網状脈として認められる。黄鉄鉍-石英網状脈に伴う石英量は一般に非常に少ない。鉍化作用の強い部分は岩脈際や断層破碎帯にそっている。今回の試錐により得られた最高品位は銅が 1308ppm および 934ppm (いずれも MJTA-4:試料幅 3.0m)、金が 470ppm(銅の 1308ppm と同一試料)である。

2) 変質作用

地表踏査、コア観察、各種室内試験にもとづき本地区の変質帯をその外側に発達するプロピライト帯と内側の石英-セリサイト帯、石英-電気石帯に区分した。(Table II-4-1-1 および Figure II-3-1-1 の柱状図参照)。

(a) プロピライト帯

本帯は緑泥石、緑レン石、方解石の組み合わせで特徴づけられるいわゆるプロピライト帯である。平面的には後述の石英-セリサイト帯を取り囲み広域に広がる。本帯の代表的変質鉍物である緑泥石は一部緑レン石と共生して割れ目に生じている。鏡下では有色鉍物を多少とも交代して生じている。緑レン石は緑泥石と共生して産するほか、有色鉍物を交代し、岩石中に明瞭な斑状集合体としても産出する。方解石は細脈としてまたは斜長石を交代して本帯中に普通に見られる。方解石細脈は緑レン石・緑泥石脈を切る場合が多い。

X 線回折試験では上記鉍物以外に本帯から石膏と微量のセリサイトおよびモンモリロナイトが検出された。

(b) 石英-セリサイト帯

本帯は石英とセリサイトの組み合わせにより特徴づけられ、緑泥石もこれらと共生して脈

状にしばしば出現する。プロピライト帯とは肉眼的な珪化の有無により識別した。ボーリングコアではプロピライト変質に重複して石英網状脈に伴う珪化作用が観察されることから本帯はプロピライト帯より後の生成と考えられる。地表における本変質帯は閃緑斑岩体中央部のやや南部に位置する MZB-39 付近から北方に閃緑斑岩体に沿って MZB-25 付近まで帯状に分布する。孔井における本帯は幅数 mm の黄鉄鉱-石英(±緑泥石)網状脈とその周囲に発達する多量の硫化物を鉱染した珪化部として認められる。地表では酸化鉄を伴う珪化岩または白色粘土(セリサイト)を伴った珪化岩として認識できる。緑レン石もしばしば黄鉄鉱-石英細脈に伴なわれる。

X 線回折試験では本帯から石英、セリサイトまたはセリサイト・モンモリロナイト混合層鉱物、緑レン石、緑泥石、緑泥石・モンモリロナイト混合層鉱物、石膏、カオリナイトなどが検出されている。MJTA-1 では本帯および石英-電気石帯からセリサイト・モンモリロナイト混合層鉱物が比較的多数検出された。この混合層鉱物の出現は深度約 100m 付近までに限る。同様に緑泥石・モンモリロナイト混合層鉱物の出現も浅い部分に限定される。

(c) 石英-電気石帯

本帯は強珪化と電気石の出現を特徴とする。試錐孔では MJTA-1 のみで確認された変質帯で、比較的大規模な破碎帯の近傍に出現する。地表においては MZB-25 の西方 100m の地点で電気石が付着した安山岩転石を見出した発見したのみでのみであるため、この変質帯の広がり是不明である。この帯の珪化作用は一般に非常に強く、母岩の組織が完全に破壊される場合がある。また、強い黄鉄鉱化も認められる。電気石は径 1mm 程度の粒状をなし、その内部は放射状組織を示し、母岩中に最大約 10vol%含まれる。

少量のセリサイトも本帯に伴われる。微細な割れ目を充填あるいは斜長石の内部を交代する。緑泥石および緑レン石は本帯中のやや珪化の弱い部分にのみ出現する。方解石は本変質帯にしばしば斜長石を交代して生成している。

(d) 酸性変質鉱物

酸性変質鉱物としては、MJTA-1 からはごく少量のパイリフィライトが、地表試料からは珪化岩に伴い少量のカオリナイトが X 線回折試験で検出された。しかし、本地区ではまとまった酸性変質帯は確認されていない。

(e) 方解石-緑レン石変質

すべての変質帯を切る細脈であり、MJTA-1 に多く出現する。緑レン石、方解石は酸性変質帯を除く前述の変質帯によく伴われる鉱物である。このためこの変質が及んでいる範囲がはっきりせず、帯区分はしていない。

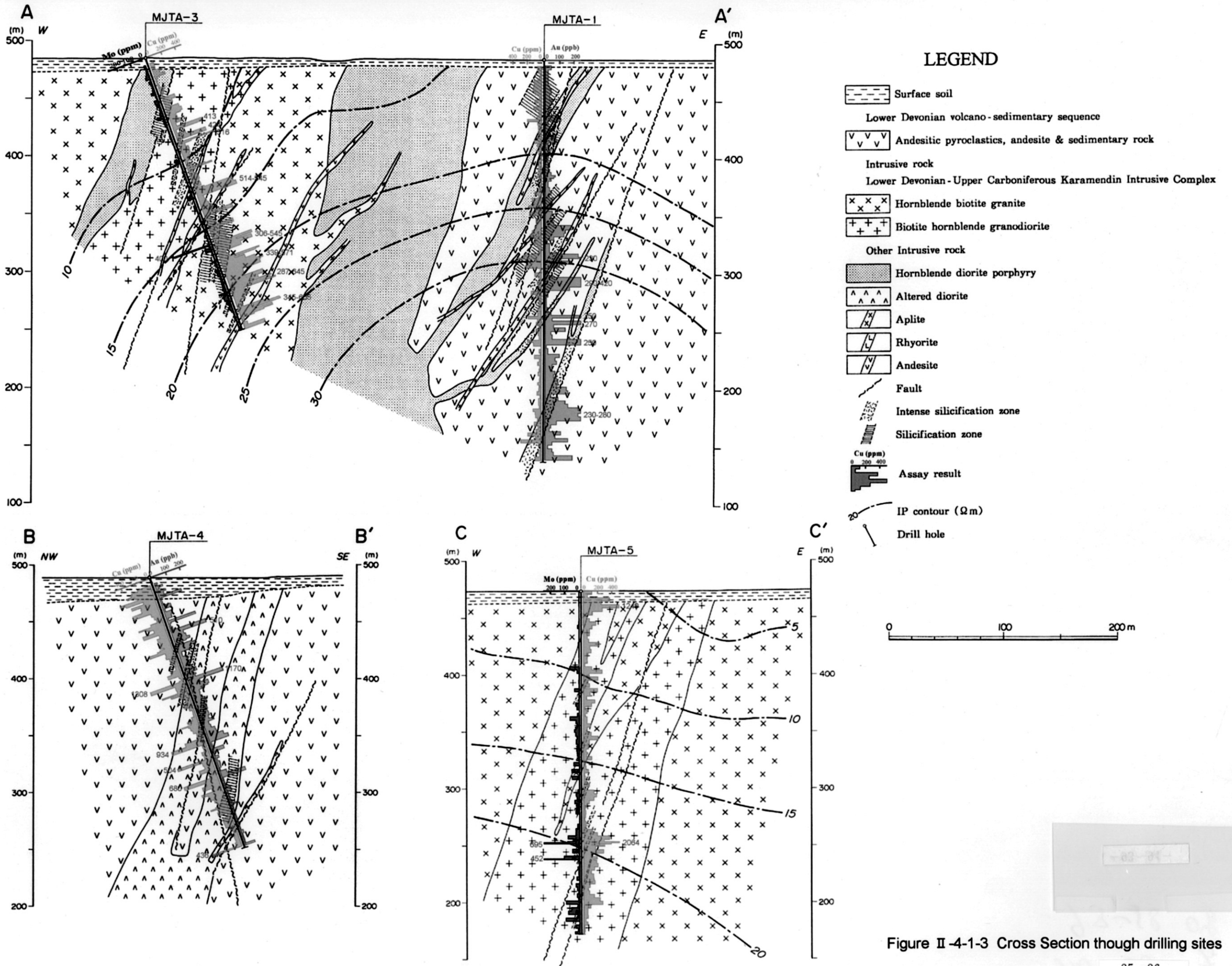


Figure II-4-1-3 Cross Section through drilling sites

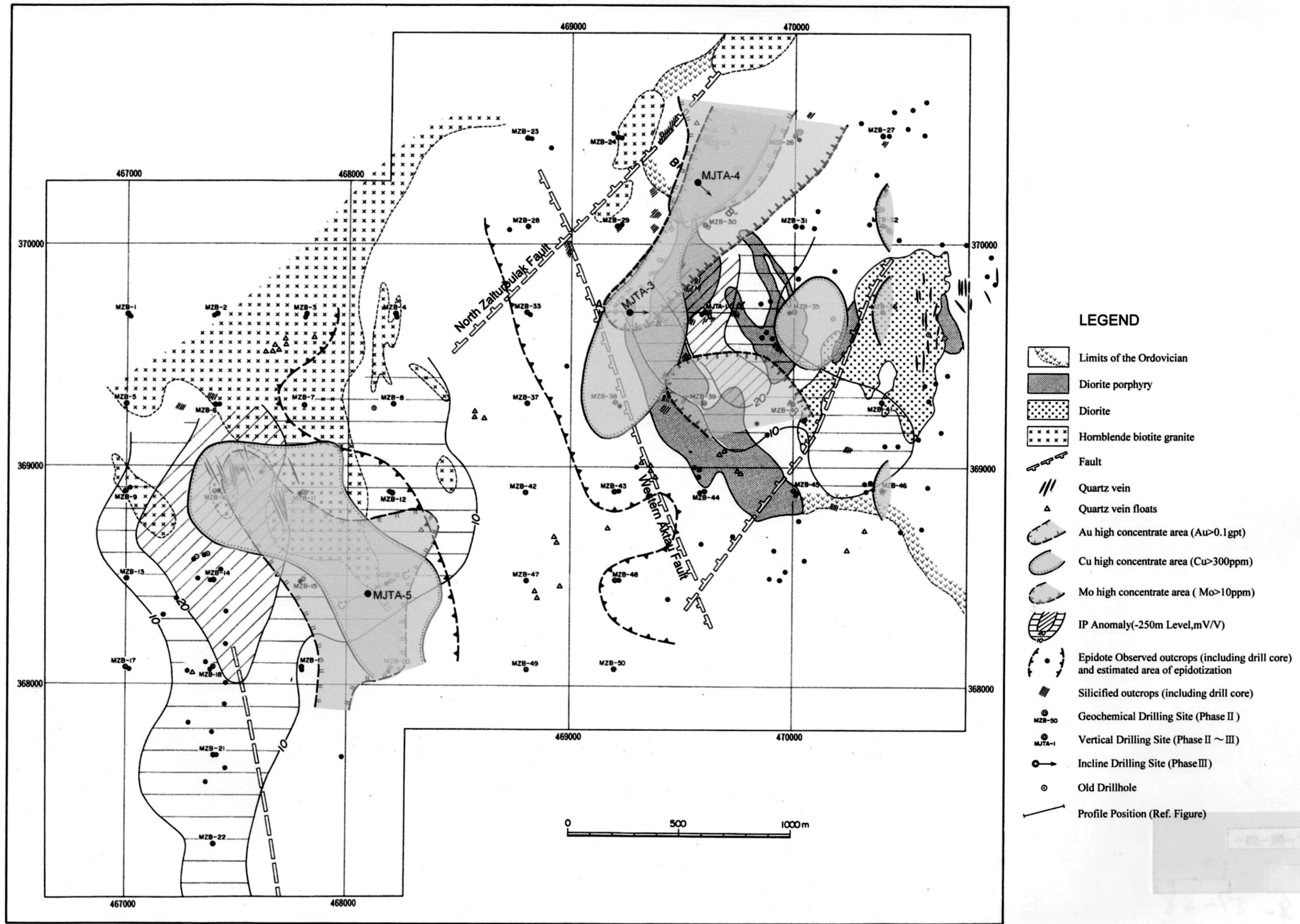


Figure II -4-1-4 Interpretation Map of Geology, Geochemistry, Mineral Occurrence and Geophysical Survey of Central Zalturbulak Prospect

3) 鉍化作用

本地区の鉍化作用はその産状から①Cu-Au、②Au-(Cu)および③Auの3タイプが識別できる。それらは鉍化作用の早期から後期にこの順に生成したものと推定できる。各タイプの特徴は以下のとおりである。

①Cu-Auタイプ

MJTA-4 孔に典型的に見られる鉍化作用で、黄鉄鉍-黄鉄鉍網状脈や細脈にともなう金と銅の濃集を特徴とする。主に石英-セリサイト帯の生成に関連した鉍化作用である。確認した鉍石鉍物は黄鉄鉍+黄銅鉍+磁硫鉄鉍+磁鉄鉍±エレクトラム±輝水鉛鉍±キューバ鉍±硫砒ニッケル鉍である。黄銅鉍は黄鉄鉍細脈に伴い鉍染状に産するが、しばしば黄鉄鉍粒内の包有物としても認められる。MJTA-4 孔からの試料では顕微鏡観察により珪素を含む磁鉄鉍が認められた。

変質帯や確認した鉍徴の分布から、鉍化作用は閃緑斑岩の北端部から NE-SW に伸びる断層に沿ってもたらされたものと想定される。今回のボーリング調査により得られた品位は、まとまった高品位部で数百 ppm Cu あるいは数百 ppb Au と全体としては高品位部は得られなかった。銅の最高品位は 1308ppm、934ppm(MMAJ-4 いずれもコア長 3m)などで、閃緑斑岩の分布域の北先端部でソビエト時代に掘削されたボーリングコアからも 2490ppm、4150ppm(20cm 幅)とやや高い品位を示したものがある。また、金に関しても 3m 試料幅で 100ppb オーダの品位が数試料から得られた。

このタイプの鉍化帯内から流体包有均質化温度は測定できなかった。アクトガイ(Aktogai)鉍床ではこのタイプの鉍化作用を特徴づける磁硫鉄鉍、磁鉄鉍、キューバ鉍などの鉍物は、鉍化作用の初期に生成し、その時期の流体包有物均質化温度は 490-320℃としている(Zvezdov et.al, 1993)。MJTA-4 孔で認められた珪素を含む磁鉄鉍は釜石鉍山天狗森鉍床の銅硫化物鉍石から報告され (Shiga,1988&1989)、その生成温度は約 300℃と推定されている。

② Au-(Cu)タイプ

MJTA-1 に出現する石英-電気石帯に関連すると推定される鉍化作用で、金が部分的に高品位を示す。肉眼および鏡下で確認した鉍石鉍物は黄鉄鉍+黄銅鉍+磁硫鉄鉍+磁鉄鉍±エレクトラムで、黄鉄鉍を多量に含むことを特徴とする。品位に関しては黄鉄鉍が特に濃集した部分の幅約 20cm の試料で Au が 500ppb、Cu が 600ppm の品位を示す場合がある。1~3m 間隔の試料の最高品位は、金が 0.25ppm (コア長 3m 試料)、銅は約 200ppm (コア長 3m 試料) である。

③ Auタイプ

このタイプの鉍化作用は、石英-セリサイト帯または石英-電気石帯に重複して生成している緑レン石-方解石変質に伴っている。金の鉍化を主とし銅をほとんど伴っていない。

MJTA-1 の深度 190m～200m が代表例である。ここでは 190m～192m 間に閃緑斑岩の岩片なる断層破碎帯があり、それより深度 200m までの約 10m の区間では方解石網状脈が卓越する。この区間において、金が平均品位は 0.4ppm と明瞭な鉍化を示した。MJTA-1 には緑レン石を伴う方解石細脈がしばしば認められることから MJTA-1 に見られる金の鉍化はこのタイプの鉍化作用によるものが相当含まれている可能性もある。MJTA-1 の深度 201.9m における石英脈の流体包有物均質化温度は 105～218℃を示し、モード値は 165℃であった。

このほか岩石地化学探査で閃緑斑岩の南部において Au のみの異常が抽出されており、その地区にもこれもこのタイプの鉍化作用が存在するもの考えられる。

④その他

MJTA-4 孔では、やや珪化が強い部分に微弱な Mo または Cu の鉍化作用が認められるが、その産状は不明なところが多い。

3) 鉍化帯のまとめ

Table II-4-1-1 の上半部に鉍化作用の特徴をまとめた。

本地区の代表的な鉍化作用は下で述べる第 2 ステージのもので、これは多量の黄鉄鉍と強い珪化-セリサイト変質を伴う鉍染状黄銅鉍および石英-黄鉄鉍網状脈として認められる。鉍化関連火成岩は閃緑斑岩で、鉍化帯の生成温度は 300℃以上と推定される。ボーリング調査により得られた品位は、部分的には 1308ppm Cu や 934ppm Cu (3m 試料幅) も得られたが、十数mのまとまった高品位部で約 500ppm 程度である。鉍化作用は岩脈際などの弱線に沿って主に起こっている。

本地区の鉍化帯は以下により形成したと推定される；

1. 閃緑斑岩の貫入にともなう広域的なプロピライト帯が生成した。この時期にはいわゆるカリウム変質帯も生成した可能性があるがこれまでのところ未確認である。
2. 次いで黄鉄鉍-石英網状脈にともなう金、銅の鉍化作用が生じた。前述の比較的高い銅、金品位はこの鉍化作用による鉍化部から得られたものである。この時期の変質は石英-セリサイト-(緑泥石)の組み合わせで特徴づけられる。MJTA-1 と MJTA-4 を比較すると銅品位は MJTA-4 が高く、総硫化物量は MJTA-1 が多いことから、MJTA-4 付近がより鉍化作用の中心部に近く、MJTA-1 付近の鉍化作用は黄鉄鉍殻に近い性質のものとも考えられる。鉍石鉍物の組み合わせ等から推定される熱水の温度は 300℃以上である。
3. この後、電気石-石英変質に伴って、金と微弱な銅の鉍化作用が生じた。この鉍化作用は今までのところ MJTA-1 のコアのみで確認されており、その広がり不明である。
4. 最後に炭酸塩化作用を伴う金の鉍化作用が起こる。岩石地化学探査で認められた閃緑斑

岩分布域南部の Au 異常はこのタイプの鉍化作用に起因するものであろう。この熱水の温度は 105°C～218°Cである。

4)有望地の抽出

Figure II-4-1-4 に現在までに得られたデータをまとめた。第 2 年次の岩石地化学探査により閃緑斑岩の分布の中心部(MJTA-1 付近より)より北部で NE-SW 方向に伸張する銅・金の高濃度域が把握された。今回この中心部で掘削した MJTA-4 は斑岩銅タイプに類似した性状を示す Au-Cu 鉍化帯を把握したが、Cu,Au 品位は全体として地化学レベルの濃集にとどまっている。このタイプの鉍化帯はオールドビス系の分布に規制されることから、鉍化帯が期待できる北限は MJTA-4 から北東方に約 400m 離れた North Zalturbulak 断層までとごく限られた地区である。MJTA-4 から得られた品位から、この限られた地区に経済性のある鉍化帯を地下深部に見出す可能性は低いものと考えられる。

(2) 花崗岩による Cu-Mo 鉍化作用

西部 Zalturbulak 地区では Zalturbulak 地区の北西部にまとまって分布する角閃石黒雲母花崗岩から派生したストック状角閃石黒雲母花崗岩(以下花崗岩とする)が南南東方向に伸びる。この部分の花崗岩の分布範囲は 2 年次地化学調査で把握した銅とモリブデンの異常域にほぼ一致する。この地化学異常の中心部で掘削した MJTA-5 孔において銅,モリブデン,金などの鉍化作用を捕捉した。また,Aktau 西部で掘削した MJTA-3 孔でも花崗岩が認められ,同様の鉍化作用を確認した。以上から銅,モリブデン,金鉍化作用をストック状花崗岩に関連するものと考えた。

1) 産状

鉍化帯は黄鉄鉍-石英網状脈または鉍染状黄鉄鉍-黄銅鉍が密集した部分として認識できるが、地表には石英脈転石を認めるのみである。MJTA-5 孔では黄鉄鉍-石英網状脈を切る石英細脈群が観察され、この石英細脈群には銅、モリブデンのほか金,銀,鉛,亜鉛が濃集している。黄鉄鉍-石英網状脈に伴う石英量は通常ごく少量である。この鉍化作用は節理系などの小割れ目に明瞭に規制されており、試料幅 3m の分析により比較的高品位が得られた区間でも割れ目密度が少ない部分には新鮮岩が認められる。

2)鉍石鉍物

初生鉍石鉍物は黄鉄鉍+黄銅鉍+輝水鉛鉍±磁鉄鉍±磁硫鉄鉍±方鉛鉍±エレクトラムなどである。磁硫鉄鉍は西部 Zalturbulak では確認されていない。黄銅鉍は鉍染状あるいは黄鉄鉍内の包有物としても認められる。輝水鉛鉍は顕微鏡で確認できる程度の微細な石英細脈に伴われる場合が多い。

3) 変質作用

MJTA-3 孔,5 孔ともに普遍的に緑泥石化および緑レン石化を生じ,これに重複して珪化および白色粘土化が認められる。ここでは珪化および粘土化に着目して 3 つの変質帯に区分した。

(a)プロピライト変質帯

緑泥石+緑レン石±方解石の組み合わせで特徴づけられる。緑泥石・緑レン石は細脈あるいは有色鉱物を交代して出現する。緑レン石は岩石中に径数 mm の斑点状なして生じている場合がある。地表露頭ではこれが非常に特徴的であり,本変質帯を追跡するのに有効であった。黄鉄鉱は緑泥石と共生して小割れ目に鉱染している。方解石は顕微鏡観察により鉱物を交代して生成しているのが常に確認される程度で,明瞭な脈として産する場合は少ない。

(b)セリサイト変質帯

セリサイト+緑泥石+緑レン石の組み合わせで特徴づけられ,微弱な Mo の鉱化作用を伴う。セリサイトは主として細脈を構成する鉱物あるいは岩石などを交代して出現する。黄鉄鉱は非常に少なく,また肉眼的な珪化は認められない。X 線回折試験ではこのほかセリサイト・スメクタイト混合層鉱物,スメクタイトなどが検出された。この変質は MJTA-5 孔に見られ,MJTA-3 孔ではほとんど認められない。

(c)石英 +セリサイト帯

本帯は強い珪化作用で特徴づけられ, 1vol%以上の硫化物を含む。珪化は主に石英網状脈に伴われる。石英網状脈を構成する石英細脈は緑泥石をしばしば脈際に伴い,時に緑レン石も伴う。セリサイトは主に斜長石を交代して生成しているが細脈中にも出現する。有色鉱物は緑レン石,緑泥石,方解石によって普遍的に交代されている。

4) 鉱化作用

鉱化作用は第 2 章で述べたように Mo の濃集を特徴とする。Mo に随伴する元素や肉眼的鉱化・変質の特徴により鉱化作用を以下の 4 タイプに区分した。

(a)Mo タイプ : セリサイト変質帯に対応するタイプで,微弱なモリブデンの鉱化作用を特徴とする。MJTA-5 の深度 98~175.0m 間がこのタイプの鉱化作用の代表例である。肉眼でまれに輝水鉛鉱が認められる。顕微鏡下ではやや石英質な部分から輝水鉛鉱,黄銅鉱,磁鉄鉱,黄鉄鉱を確認した。このタイプではモリブデン以外の金属元素の濃集がほとんど認められない。主鉱化・変質期に先立つ先駆的な鉱化作用を示すと思われるが確証は得られていない。

(b) Mo-Cu-Au タイプ：石英-セリサイト変質帯に対応する鉍化作用である。

明瞭な石英網状脈を伴うことやその周囲に硫化物が比較的多量に鉍染していることを特徴とする。MJTA-5 の深度 174m～183m, 209m～260m 区間, MJTA-3 の深度 171m～233m 区間が代表的で Mo, Cu, Au の濃集が明瞭である。MJTA-3 ではこの型の鉍化作用が関連花崗岩中より周囲の花崗閃緑岩中で強くなる (Figure II-4-1-3)。比較的顕著な鉍化作用は MJTA-3 孔の 120m～240m 間で認められ、500ppm 以上の銅品位を示す部分が数箇所において 10m 程度連続している。鏡下では黄銅鉍, 黄鉄鉍, 輝水鉛鉍, 磁鉄鉍, 輝蒼鉛鉍を確認した。

(c) Mo-Cu-Au-Ag-Pb-Zn タイプ：これも石英-セリサイト変質帯に対応する鉍化作用である。

MJTA-5 では、Mo-Cu-Au タイプの鉍化作用が及んでいる中に Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo がともに極端に高い濃度を示す部分がある。代表例は深度 219m～221m 区間で、ここでは Au:0.28ppm, Ag:14ppm, Cu:2064ppm, Pb:1060ppm, Zn:403ppm, Mo:85ppm を示した。この部分は石英網状脈を切る石英細脈が数状発達し、石英細脈には輝水鉛鉍, 黄銅鉍が鉍染しているのが観察でき、鏡下でも黄銅鉍, 黄鉄鉍, 輝水鉛鉍, 方鉛鉍を確認した。MJTA-5 の北西方約 500m の位置には黒雲母花崗岩に伴い多数の石英脈が分布する。この石英脈は金, 銀, 鉛, モリブデンがしばしば濃集し、MJTA-5 の 219m～221m 区間の鉍化作用と対比できる。この石英脈 5 試料から流体包有物均質化温度が測定され、220℃～340℃に集中する均質化温度を示した (JICA/MMAJ, 1998, Appendix 10(5)参照)。

(d) Au-Cu タイプ：MJTA-3 に出現するタイプで Au-Cu の濃集を特徴とする。深度 122～129m 間が代表的である。この区間の平均品位は Au が 370ppb, Cu が 555ppm と比較的高品位を示した。この型の鉍化は石英-黄鉄鉍-緑泥石脈に伴う。MJTA-3 孔の深度 233.1m の弱い Au の鉍化を伴う Cu 鉍化部の緑泥石-石英細脈で均質化温度が測定できた。温度は 180℃～300℃の範囲にあり、190℃と 270℃付近にピークを持っている。

5) 鉍化帯のまとめ (Table II-4-1-1)

石炭紀の後期に花崗閃緑岩から分化した花崗岩によりもたらされたのがこのタイプの鉍化作用である。MJTA-3 で見られたように鉍化作用は花崗岩本体よりも被貫入岩で強い。鉍化作用は西 Zalturbulak 地区では Mo(鉍染)→Mo-Cu-Au(網状脈)→Au+Ag+Cu+Pb+Zn(石英脈)の順に、Aktau 西部では Mo-Cu-Au(網状脈)→Cu-Au(石英-緑泥石脈)と進行したと考えられる。MJTA-3 と MJTA-5 の品位を比較すると、Cu, Au は MJTA-3 が高く、Mo は MJTA-5 の方が高い。この鉍化作用の濃集元素における両者の差は鉍化作用の場が大きく関与した可能性がある。すなわち、西 Zalturbulak 地区の鉍化作用はバソリスの内部で起こっているのに対し、Aktau 西部ではデボン紀後期のバソリス縁部の Au-Cu の鉍化作用に重複して鉍化作用が起きている。このような鉍化の場が濃集元素の違いを示したのかもしれない。

一般にこの地区の地表に分布する花崗岩類は割れ目に乏しい。この種の鉍化作用の強さ

Table II-4-1-1 Mineralization stage in the Central Zalturbulak area

Type	Mineralization		Alteration		T ^o C			
	Ore minerals (identified)	occurrence	zone	type	100	200	300	400
Aktau west	Barren		propylite	chlorite epidote calcite				
	Cu-Au-(Ag)	pyrite-quartz-chlorite network veins	quartz-sericite	quartz sericite chlorite epidote calcite			-----	
	Cu-Au	pyrite-quartz network veins	quartz-tourmaline	quartz sericite tourmaline				
Western Zalturbulak	Au	quartz & calcite veins,	propylite	epidote calcite		-----		
	Barren	veinlets	propylite	chlorite epidote calcite				
	Mo	dissemination	sericite	sericite chlorite epidote				
	Mo-Cu-Au	pyrite-quartz-chlorite network veins	quartz-sericite	quartz sericite chlorite epidote				
	Mo-Cu-Au-Ag-Pb(-Zn)	quartz vein,pyrite-quartz network	quartz-sericite	quartz sericite chlorite epidote			-----	
	Au-(Cu)	quartz-chlorite vein	quartz-chlorite	quartz chlorite epidote		-----		

は一義的に割れ目密度に大きく規制されると考えられるので、本地区内で大規模な鉍化作用が形成される機会は多くなかったと思われる。

5) 有望地区の抽出

岩石地化学調査で把握された Mo, Cu の高濃度域は花崗岩に伴う鉍化作用であることがわかった。この高濃度域に重複して西側に Pb, Ag の高濃度域が把握されたが、これも Mo 鉍化作用の鉍化作用と一連のものであると考えられる。

この鉍化作用はストック状花崗岩の頂部付近に Mo, Cu が濃集したものである。花崗岩体と岩石化学探査の異常が重なる場所が地域内にはほとんどないこと、この付近の花崗岩に割れ目が少ないことから、このタイプの大規模な鉍化帯の賦存の可能性は低いといわざるを得ない。

地化学異常の西側に広がる強い IP 異常についてはボーリング調査ができなかった。この付近でソビエト時代に実施したボーリング調査では銅、モリブデンとも高品位は示さなかった(JICA/MMAJ, 1998)。このことからこのタイプの鉍化作用をターゲットとした次期探査について優先度は高くない。