

4-2 Akmola 地区

4-2-1 地質

Akmola 地区には、デボン紀前期に形成された火山碎屑岩類が広く発達し、地区中央には、これらを貫く花崗岩類と斑状完晶質岩が分布する(Figure II-4-2-1)。火山碎屑岩類は流紋岩質細粒凝灰岩と同質溶結凝灰岩を主体とし、少量の安山岩溶岩、砂岩および頁岩を伴う。貫入岩類は、南北 2.5km、東西 10km 以上の規模を有する中粒花崗岩と、これを貫く細粒斑状花崗岩岩株、石英斑岩岩株・岩脈、石英安山岩岩脈および安山岩岩脈からなる。岩株の規模は 200m×500m 前後のものが多い。貫入時期はデボン紀から石炭紀と推定され、Karamendin 複合岩体に対比される。以下に各地層について述べる。

(1) 下部デボン系

流紋岩質細粒凝灰岩は Akmola 地区の火山碎屑岩類のなかで最も広く分布する。代表的な岩質は、無斑晶質細粒流紋岩質凝灰岩と斑状凝灰岩である。前者は、クリーム色を呈する珪長質岩で、板状節理が顕著に発達する。しばしば、微量の斜長石結晶片を含む。後者は、暗褐色～褐色を呈し、ガラス質の基質中に粒径 1～3mm の斜長石と石英の結晶片を含む流紋岩質～デイサイト質凝灰岩である（結晶片の比率は最大で 30%前後）。

流紋岩質溶結凝灰岩は流紋岩質細粒凝灰岩に伴い分布する。本岩は、褐色～褐灰色を呈するガラス質凝灰岩で、厚さ 1～3mm のガラス片による溶結構造が明瞭である。

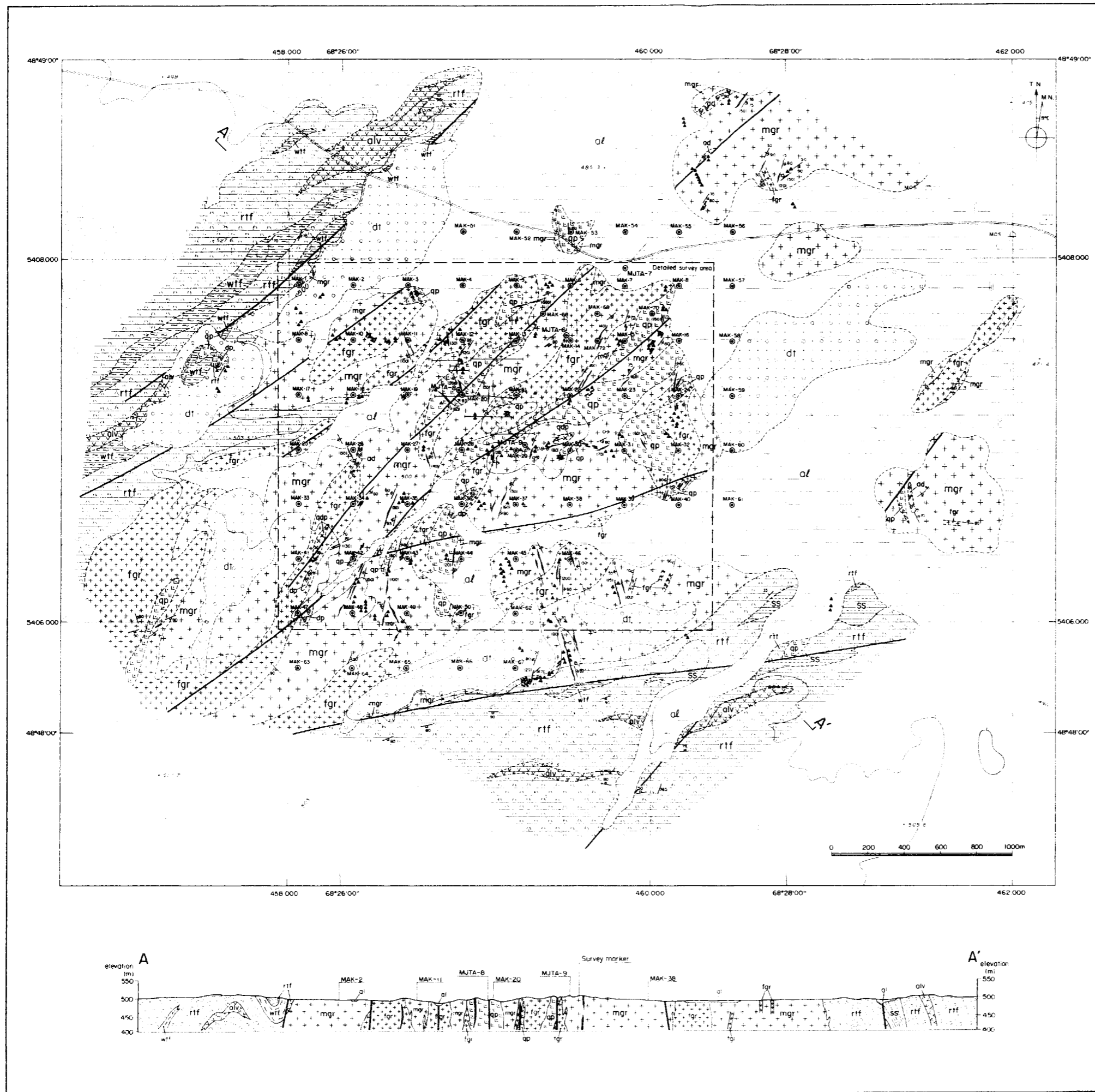
安山岩溶岩は地区南西部と南東部で、流紋岩質凝灰岩中にレンズ状に挟まれて小規模に産出する。暗灰色～暗褐色を呈する斑状安山岩からなり、長径 1～4mm の斜長石の斑晶を多量に伴う。

頁岩・砂岩は地区南西部で火山碎屑岩類にレンズ状に挟まれて小規模に分布する。頁岩は、暗灰色～帯紫褐色、硬質、フリント状を呈し、しばしば凝灰質頁岩を伴う。砂岩は、暗灰色～暗褐色を呈する細粒～中粒砂岩を主体とする。凝灰質砂岩および泥質砂岩を伴う。

(2) Karamendin 複合岩体

中粒黒雲母角閃石花崗岩は Akmola 地区中央に広く分布する。岩体の広がりには南北 2.5km、東西 10km 以上であり、上述の陸成火山碎屑岩類を貫く。本岩は、粒径 2～4mm のカリ長石、斜長石>石英>角閃石、黒雲母からなり、新鮮部で帯桃灰色を示す。検鏡結果によれば、カリ長石と斜長石がほぼ等量のアダメロ岩も多く含むが、岩体として同一のものと野外で判断されることから、以下の記述では中粒花崗岩と呼称する。多くの場合、角閃石と黒雲母は緑泥石化している。まれに、黒雲母が非常に細粒かつ微量で、肉眼では識別できない場合もある。

斑状細粒花崗岩は Akmola 地区中央で、NE-SW 方向に伸長する複数の岩株として、中粒花崗岩を貫いて産出する。岩体の大きさは、200m×700m 前後のものが多い。地区東部では、幅数メートルの岩脈としても産出する。岩相は、桃色を呈する粒径 1～2mm の細粒花崗岩で、鉍物



LEGEND

- Colloquium cover
- Alluvium cover
- Lower Devonian karamandine Intrusive Complex:**
 - Andesite dyke
 - Diorite porphyry
 - Quartz diorite porphyry
 - Quartz porphyry Porphyritic dacite
 - Porphyritic fine grained granite Microgranite
 - Medium grained bi-ho granite
- Lower Devonian lava and tuff units:**
 - Rhyolitic fine grained tuff
 - Rhyolitic welded tuff
 - Andesite lava
 - Sandstone and shale
- Quartz vein (more than 10cm in width)
- Quartz veinlet (less than 10cm in width)
- Quartz network
- Quartz float
- Vertical short drill hole (in this campaign)
- Inclined deep drill hole (previously performed by the Soviet Union)
- Trench (previously performed by the Soviet Union)
- Survey marker
- Strike and dip of quartz vein
width (cm) of quartz vein
- Vertical quartz vein
- Strike and dip of joint
- Geologic boundary
- Inferred fault
- Line of section

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

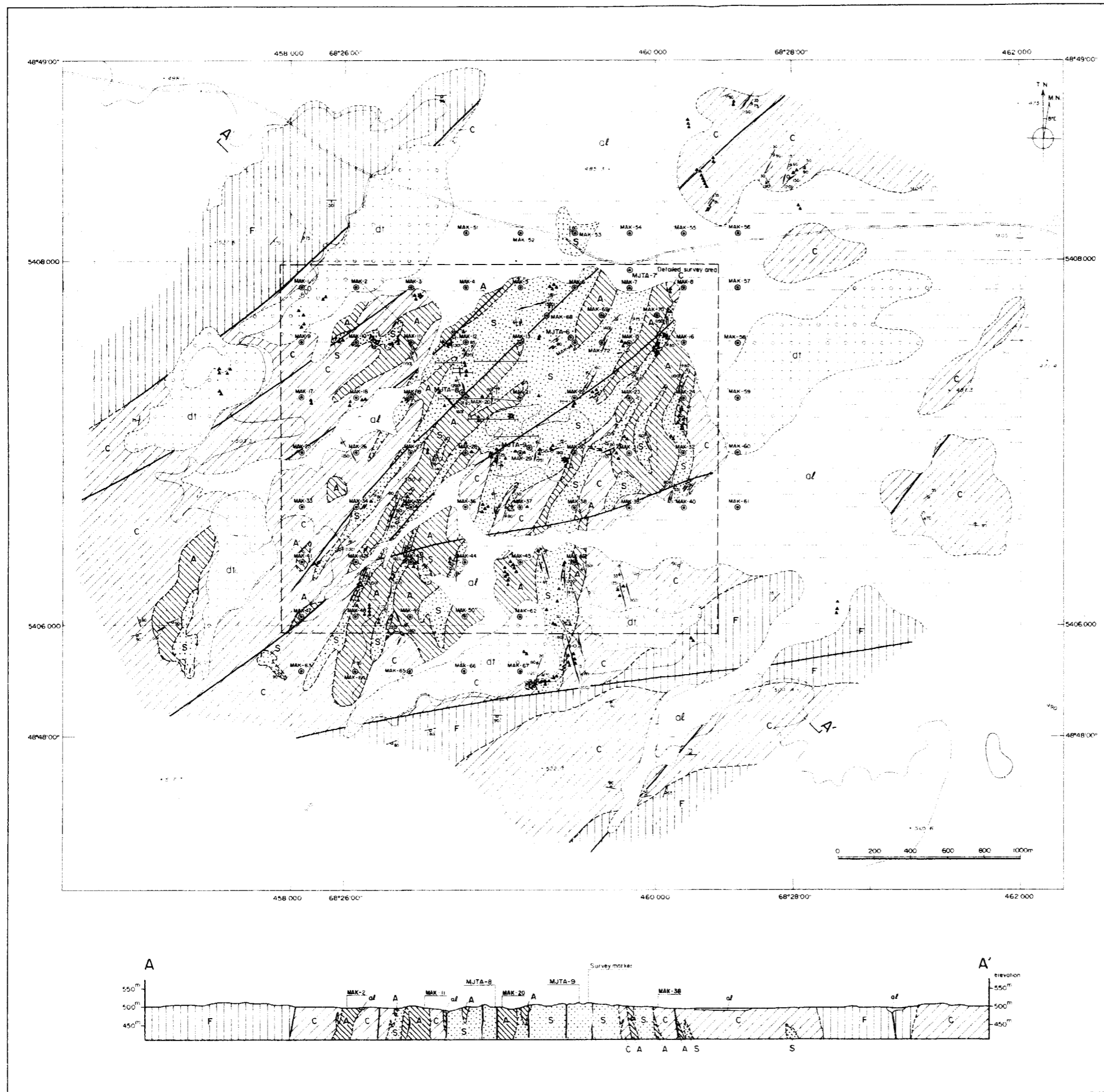


Figure II -4-2-2 Alteration Zoning Map of the Akmola Area

組み合わせは、カリ長石、斜長石>石英=角閃石、黒雲母を示す。多くの場合、粒径 4mm 前後の自形斜長石を含み、斑状組織を示す。

石英斑岩岩株・岩脈および石英安山岩岩脈は Akmla 地区中央で、NE-SW 方向に伸長する複数の岩株・岩脈として産出する。岩株の規模は長径 200m~500m のものが多い。中粒花崗岩を貫くが、斑状細粒花崗岩との前後関係は不明である。多くの場合、斑状細粒花崗岩に隣接して産出する。典型的な岩相は以下のとおりである。斑晶は、粒径 4~8mm の石英、斜長石を主体とし、石基は石英、長石、黒雲母からなる。まれに角閃石の斑晶を含む。同一の岩体中でも斑晶量と石基の粒径は大きく変動する。以下の記述では、斑晶量が多く（全体の 60~30%）石基がやや粗粒な岩体を石英斑岩と呼称し、斑晶量が少なく石基が細粒な岩体を石英安山岩と呼称する。多くの場合、石英斑岩岩株・岩脈と石英安山岩岩脈は著しい変質を受けている。地区東部に産出する未~弱変質石英斑岩岩脈（幅 18m、走向 N20° W）から 310±6Ma の年代が得られた。これは石炭紀前期の年代である。

安山岩岩脈は幅 1.5~5m の岩脈として産出する。野外では強い緑泥石化を受けた暗緑色・細粒の角閃石輝石安山岩として認められる。第 3 年次のボーリング調査結果によれば、多くの場合、緑泥石化のみを受けているが、一部、珪化-セリサイト化および黄鉄鉱による鉱染を受けている箇所も認められる。

石英閃緑斑岩・閃緑斑岩は地表で転石としてまれに認められる。産状は不明であるが、小規模な貫入岩であるものと推定される。石英閃緑斑岩は、灰色を呈する粒径 1mm 前後の細粒完晶質岩で、構成鉱物は石英、斜長石>角閃石>黒雲母からなり、カリ長石はほとんど含まない。粒径 4mm 前後の自形斜長石を含み、斑状組織を示す。閃緑斑岩は、暗緑灰色~灰色の細粒完晶質岩で、粒径 1~2mm の斜長石、角閃石、輝石および少量の石英からなり、粒径 4mm 前後の自形斜長石を多量に伴い、斑状組織を示す。

4-2-2 変質作用

野外での観察結果によれば、地区中央の細粒花崗岩岩株や石英斑岩岩株の内部とその周囲、概ね南北 2300m×東西 1600m の範囲で、珪化、セリサイト化および白色粘土化が認められる。その周囲の中粒花崗岩や流紋岩質細粒凝灰岩分布域では、緑泥石化と緑レン石化が卓越する。第 3 年次に実施した 4 孔（深度 250m~288m）のボーリングのコア観察によれば変質順序は、1)緑泥石化・緑レン石化、2)粘土化、3)珪化・セリサイト化の順に生じたものと推定される。本報告書では、Akmla 地区の変質帯を、未変質帯、緑泥石化帯、白色粘土化帯および珪化-セリサイト化帯に分帯した。白色粘土化帯と珪化-セリサイト化帯は裂罅に規制され、その分布形状はきわめて複雑である。珪化とセリサイト化の後、少量の粘土脈と方解石脈が生じている。各々の変質帯の特徴は以下の通りである。

(1)未変質帯

地区南部および西北部の流紋岩質火砕岩分布域に認められる。X 線回折試験と検鏡結果によれば、微量のセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物と方解石等を含むことがある。本報

告書では、変質のきわめて弱い岩石、特に角閃石が未変質である岩石は基本的に未変質帯に分類した。

(2)緑泥石化帯

黒雲母、角閃石および一部の長石が緑泥石化・緑レン石化を受け、全体に暗緑色を呈するものや、有色鉱物のみが緑泥石化・緑レン石化を受けているものなど、様々な岩相が認められる。X線回折試験結果によれば、変質鉱物として多量の緑泥石を含むことを特徴とし、少量の緑泥石/モンモリロナイト混合層鉱物、セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物、黄鉄鉱、方解石が識別される。岩石顕微鏡下では有色鉱物の大半は緑泥石に変質するが、一部は緑レン石化し、また斜長石の一部はセリサイト化を受けている。

(3)粘土化帯

地区中央の南北 2300m、東西 1600m の範囲に分布する。X線回折試験で検出された変質鉱物は、セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物、モンモリロナイト、カオリナイト、緑泥石、緑泥石/モンモリロナイト混合層鉱物、黄鉄鉱および方解石である。変質の程度が弱い箇所、例えば MJTA-7 孔では、苦鉄質鉱物の緑泥石化と斜長石の粘土化のみがみられ原岩の組織は明瞭に残されている。強い変質を受けている箇所では原岩の組織が完全に破壊され、少量の石英細脈とセリサイトを伴う。

(4)珪化-セリサイト化帯

地区中央の三角点のある小丘を中心に、南北 1500m、東西 1000m の範囲に分布する。灰色または白色を呈する細粒の変質岩で、多くの場合、原岩組織は完全に破壊されている。しばしば多量の石英細脈、石英ネットワークおよび鉱染状黄鉄鉱を伴う。野外での産状およびポーリングコアの観察結果によれば、珪化-セリサイト化は、緑泥石化と白色粘土化の後に裂罅に強く規制されて生じたものと考えられる。X線回折試験と顕鏡結果によれば、多量の石英、セリサイトおよび黄鉄鉱を含むことを特徴とする。セリサイト/スメクタイト混合層鉱物を含ないこと、また、強い珪化を伴うことで白色粘土化帯と区別される。ただし、変質の弱い箇所では珪化-セリサイト化を免れた緑泥石や長石が少量残存する。

4-2-3 鉍化作用

鉍化は石英網状脈・鉍染状硫化鉍物に伴う Mo 鉍化作用と、幅 20cm~500cm の石英脈に伴う Au 鉍化作用の 2 つの型が認められる。前者の鉍化は主に珪化-セリサイト化帯に認められ、後者の鉍化は珪化・セリサイト化帯、白色粘土化帯のみならず緑泥石帯にも分布する。

後者については第二年次調査報告書にその性状を詳述した(JICA/MMAJ,1999)。ここでは石英網状脈・鉍染状硫化鉍物に伴う Mo 鉍化作用について記述する。

1)産状

この鉍化作用は大部分が珪化-セリサイト化帯内に生じている。鉍化母岩は、中粒花崗岩と石英斑岩岩株が主体である。

地表における酸化帯の厚さは 20~40m であり、鉍化帯の一部と判断された部分は赤鉄鉍に著しく汚染されている。赤鉄鉍は石英網状脈に伴ない鉍染状、パッチ状、細脈状または網状を呈することが多い。鉍化帯付近に shattering や角礫化を示す箇所もある。

ボーリングコアにおける Mo の鉍化作用は珪化-セリサイト化帯に選択的に起こっている。鉍化作用は石英網状脈を伴う。肉眼で識別できる硫化鉍物の大部分は黄鉄鉍で、少量の輝水鉛鉍と黄銅鉍を伴う。黄鉄鉍と黄銅鉍は、鉍染状（粒径 0.5mm~1mm）、細脈状（脈幅 1mm~5mm）またはパッチ状（直径 1cm 前後）を呈する。輝水鉛鉍は一般に肉眼では判別できないほどに微細である。肉眼で識別できるものは細脈状に産するものが大部分である。また、黄鉄鉍と黄銅鉍および輝水鉛鉍は石英細脈中にも認められる。硫化鉍物の量は全体の 1%~5%を示す。特に硫化鉍物による鉍染が顕著なのは MJTA-9 孔であり、MJTA-8 孔と MJTA-6 孔がこれに次ぐ。MJTA-7 孔の変質は粘土化を主体とし、顕著な黄鉄鉍鉍染は認められない。

2)鉍石鉍物

本地区で鏡下で観察された鉍石鉍物は、黄鉄鉍、針鉄鉍、黄銅鉍、磁硫鉄鉍、輝水鉛鉍、赤鉄鉍、方鉛鉍、磁硫鉄鉍、エレクトラムである。まれに、磁鉄鉍、銅藍、斑銅鉍、閃亜鉛鉍、輝蒼鉛鉍、硫砒鉄鉍、輝銅鉍、自然銀およびアイキン鉍 ($PbCuBiS_3$) が認められる。これらのうち輝銅鉍と自然銀の産出は地表付近に限られる。

3)鉍化作用

MJTA-9 の深度 210-248m（コア長 38m）で平均品位 Mo:0.045%の鉍化帯を捕捉した。その母岩は中粒花崗岩で、石英網状脈が密に発達し、著しく珪化を受けている。X 線回折試験により変質鉍物として石英-セリサイト-緑泥石の組み合わせが確認された。鉍染状に含まれる硫化物は 3~4vol%程度で、硫化鉍物は黄鉄鉍と輝水鉛鉍と微量の黄銅鉍である。輝水鉛鉍は最大径 50 ミクロンの微細な自形結晶として認められる。濃集部では鏡下で 2~3%vol 程度含まれる。石英細脈中には単体として密集するが、黄鉄鉍中の包有物として含まれる場合もある。

鉍化帯の周囲には“地化学ハロー”とも言うべき数十 ppm の品位を示す部分が上盤にもし下盤にも認められる。この“地化学ハロー”に同程度の Mo の品位は MJTA-6 や MJTA-8 にも数十 m にわたり認められる。MJTA-7 や MJTA-8 においては顕著な鉍化帯は確認できなかったが、これらが鉍化帯の周辺域である可能性はある。

MJTA-8 における網状石英脈の流体包有物均質化温度(3 試料)は 150℃～220℃の範囲にあり、地表試料では 250℃～360℃であった(Appendix10(6)の N1127)。また、MJTA-8 における網状石英脈の塩濃度は 8～10%と 20～28%の二つの範囲に分かれた(Appendix10(4))。

4-2-4 次期探査

MJTA-9 で Mo 鉍化帯を捕捉した。この鉍化帯は上で述べた産状、特に輝水鉛鉍が石英網状脈に伴うこと、周囲に 3～4vol%の黄鉄鉍帯が発達すること、角礫岩脈が付近に存在すること、関連火成岩として石英斑岩が想定できることおよび変質分帯などからいわゆる斑岩モリブデン型の鉍化作用に対比できる可能性が高い。

この鉍化帯については、現状ではボーリングの本数も少なく十分に探査したとはいえない。鉍化帯の広がりや富品位部の有無は不明であり、次期探査ではそれらを確認するためのボーリング調査が必要である。

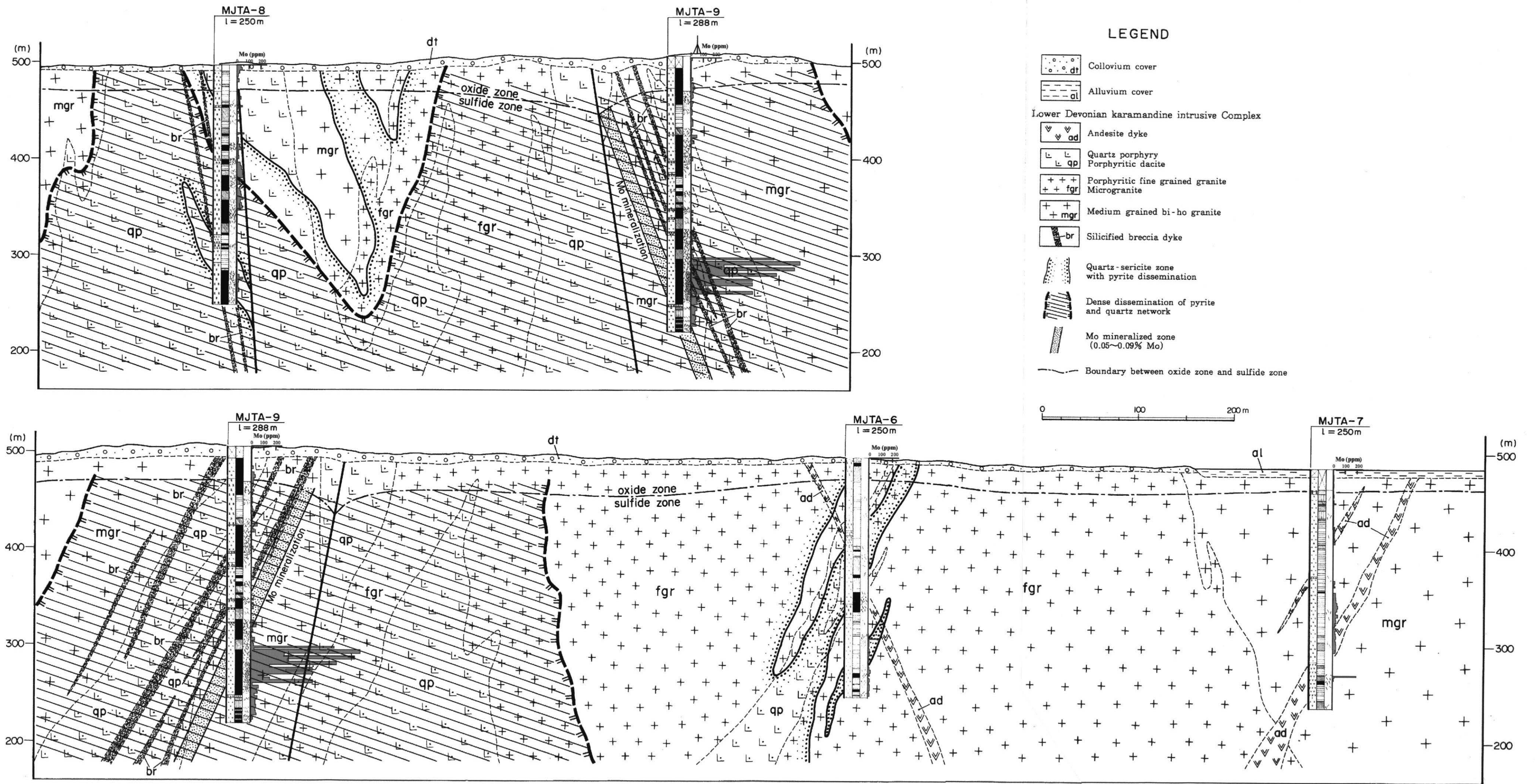


Figure II-4-2-3 Cross Section through drilling sites

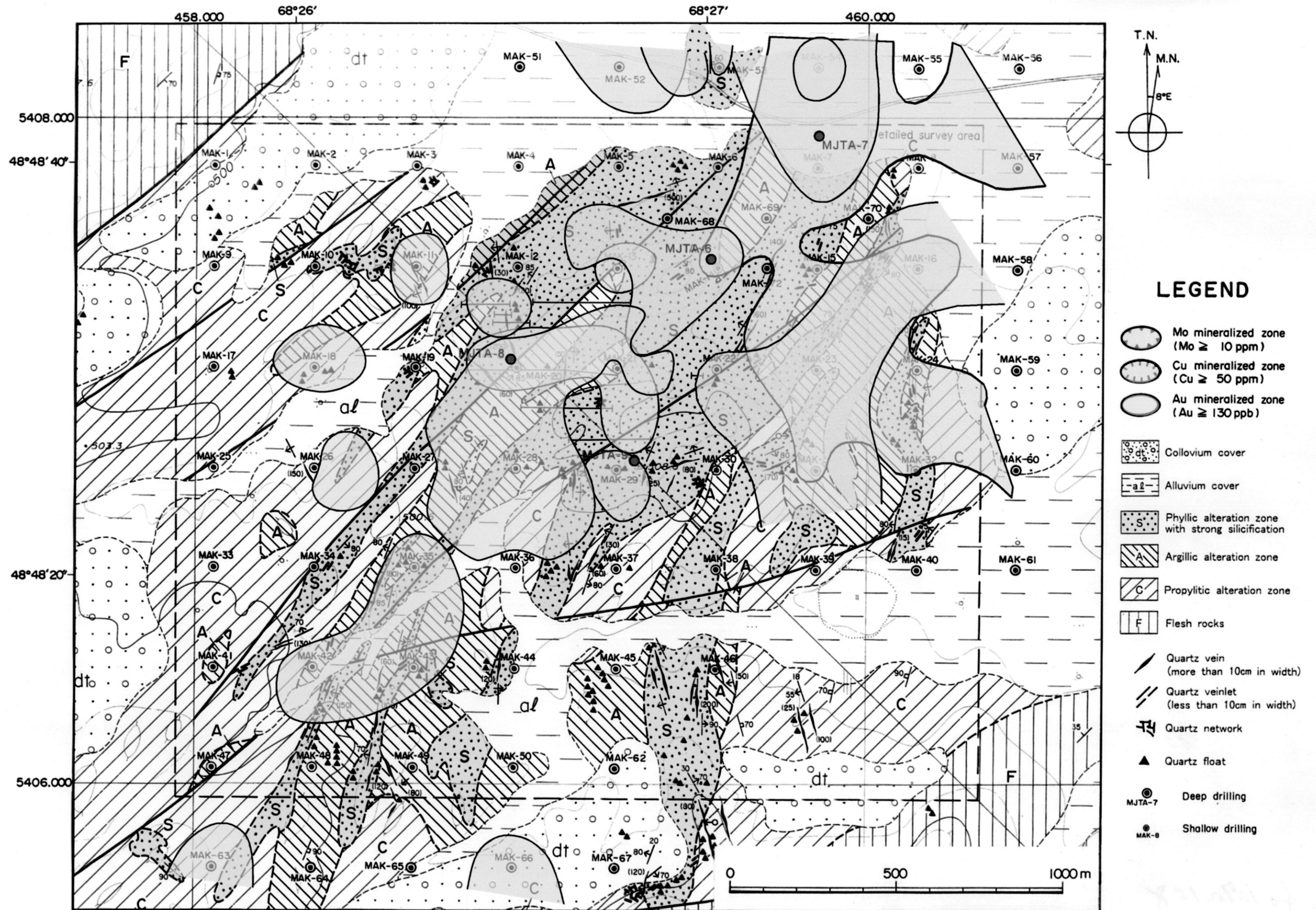


Figure II-4-2-4 Interpretation Map of Geology, Alteration and Geochemistry of Akmola Area

4-3 鉍化帯のタイプと生成環境

本項では Zalturbulak 地区と Akmola 地区で確認した鉍化帯の生成環境について検討する。Zvezdov ほか(1993)は CIS 諸国の斑岩銅および斑岩モリブデンタイプの鉍床を 4 タイプに識別した。Table II-4-3-1 には Zvezdov ほか(1993)が示した表の一部(右側の 4 つの欄)とテレクティンスキーアップリフト地域の斑岩銅又はモリブデン鉍化帯から得られたデータを比較する。

Aktau 西部の Au-Cu 鉍化作用は Zvezdov ほか(1993)の Porphyry copper & gold-copper porphyry 型に対比できる。鉍化帯は高い Cu/Mo 比と低い Cu/Au 比を示すことさらに構成鉍石鉍物のメンバーとして磁鉄鉍、赤鉄鉍を伴うこと並びに関連火成岩の低い K₂O/Na₂O 比、低い S/I 値の I タイプ花崗岩類であることなど全てのデータが Porphyry copper & gold-copper porphyry 型に類縁型にあることを強く示唆する。Zvezdov ほか(1993)はこの型の鉍化作用は島弧環境で生成した“Diorite”型の鉍化作用に対比している。

Western Zalturbulk や Aktau 西部の花崗岩に関連して生成した鉍化帯は低い Cu/Mo 比や鉍石鉍物および関連火成岩の K₂O/Na₂O 比、低い S/I 値 Gold-bearing porphyry molybdenum-copper 型または Gold-containing porphyry copper-molybdenum 型に類似している。ただし、Cu/Au 比だけが例外的に低く、これらのタイプの範囲には含まれない。この理由として Aktau 西部では鉍化帯が閃緑斑岩によりデボン紀後期に形成された鉍化帯に近接しており、その母岩のゼノリスを含んでいることから、既存の鉍化作用を取り込んで(再生して)形成した可能性があげられる。Western Zalturbulk 地区では Mo-Cu の鉍化に重複して金、銀、銅、鉛、亜鉛、モリブデンの鉍化作用があったが、この影響があげられる(Cu/Au 比の計算には、それらを区別して計算することができなかった)。Zvezdov ほか(1993)はこの型の鉍化作用は大陸縁辺部の海洋地殻または大陸地殻上で造山性安山岩質火山-深成帯で形成したとしている。

Akmola で確認された鉍化帯は、Mo に著しく富むことから Porphyry molybdenum 型の鉍化作用に対比できるが、母岩の化学的性質からは Western Zalturbulk 同様に Gold-bearing porphyry molybdenum-copper 型または Gold-containing porphyry copper-molybdenum 型に類似している。本鉍化帯からは顕微鏡観察により磁鉄鉍がほとんど観察されないのに対して磁硫鉄鉍が連続して確認されたこと、チタン鉄鉍が確認されたことなど、還元的な環境で生成したらしく鉍化作用の性格は Western Zalturbulk とは明らかに異なる。本鉍化帯が大陸縁辺部で形成したことは確実であろうが、第 1 部第 3 章でみたように Western Zalturbulk 鉍化帯などとは異なる時代の異なる広域応力場で生成したものの可能性がある。

Table II-4-3-1 Comparison of porphyry type deposit

This survey		Zvezdov et.al (1003)		
	Aktau west	Western Zaiturbulak	Akmola	
Main ore-forming minerals	Pyrite, chalcopyrite, magnetite, pyrrhotite (hematite, cubanite)	Pyrite, molybdenite, chalcopyrite (magnetite, hematite)	Pyrite, molybdenite, chalcopyrite, pyrrhotite (magnetite, ilmenite, hematite)	Pyrite, chalcopyrite, magnetite, hematite, bornite (pyrrhotite)
Mineralized element				
Mineralization Associated mineralization	Cu-Au Pb-Zn	Mo-Cu-Au Pb-Zn-Ag	Mo	Gold-bearing porphyry molybdenum-copper Pyrite, chalcopyrite, molybdenite, bornite (galena, sphalerite)
Geochemical peculiarities of ore				
Cu/Mo ratio in primary ore*	267:1 (MJTA-4)	3.9:1 (MJTA-5), 26.4:1 (MJTA-3)	1:10 (MJTA-9)	15:1-40:1
Cu/Au ratio	57700:1 (MJTA-4)	2400:1 (MJTA-5), 6600:1 (MJTA-3)	1:1460 (MJTA-9)	75,000:1 and greater
Geochemistry of the associate rock				
K ₂ O/Na ₂ O ratio	0.41-0.43	0.49-0.53	0.50-0.57	0.9-1.2
Granitoids series**	I	I	I	I-S
S/I=Al ₂ O ₃ (Na ₂ O+K ₂ O+CaO)	0.82-0.99	0.96-1.01	0.93-1.01	0.8-1.1
Granitoids series***	magnetite	magnetite-ilmenite	magnetite-ilmenite	.
Deposit model			"Diorite"	"Granodiorite"
				"Monzonite"
				"Granite"

*MJTA-4 : 130-220m, MJTA-5: 204-289m, MJTA-3: 171-231m, MJTA-9: 213.5-248m

**Chappell and White, 1974

***Ishihara, 1977