

中華人民共和国レアメタル総合開発調査  
資源開発協力基礎調査報告書

黒竜江北西部地域

第4年次

平成3年2月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱計資

CR(5)

91-59

中華人民共和國レアメタル総合開発調査  
資源開発協力基礎調査報告書

黒竜江西北部地域

第 4 年 次

JICA LIBRARY



1089180(2)

22154

平成 3 年 2 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

国際協力事業団

22154

## は し が き

日本国政府は中華人民共和国政府の要請に応え、同国北部に位置する黒竜江北西部地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査、地化学探査、物理探査、ボーリング調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本年度調査は第4年次にあたり、金属鉱業事業団は7名からなる調査団を編成して、現地に派遣した。

現地調査は平成2年6月25日に開始され、中華人民共和国政府関係機関、中華人民共和國有色金属工業総公司黒竜江地質勘査局の協力を得て平成2年9月21日予定どおり完了した。

本報告は、第4年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいた中華人民共和国政府関係機関、ならびに、外務省、通商産業省、在北京日本国大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成3年2月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

金属鉱業事業団

理事長 福 原 元 一



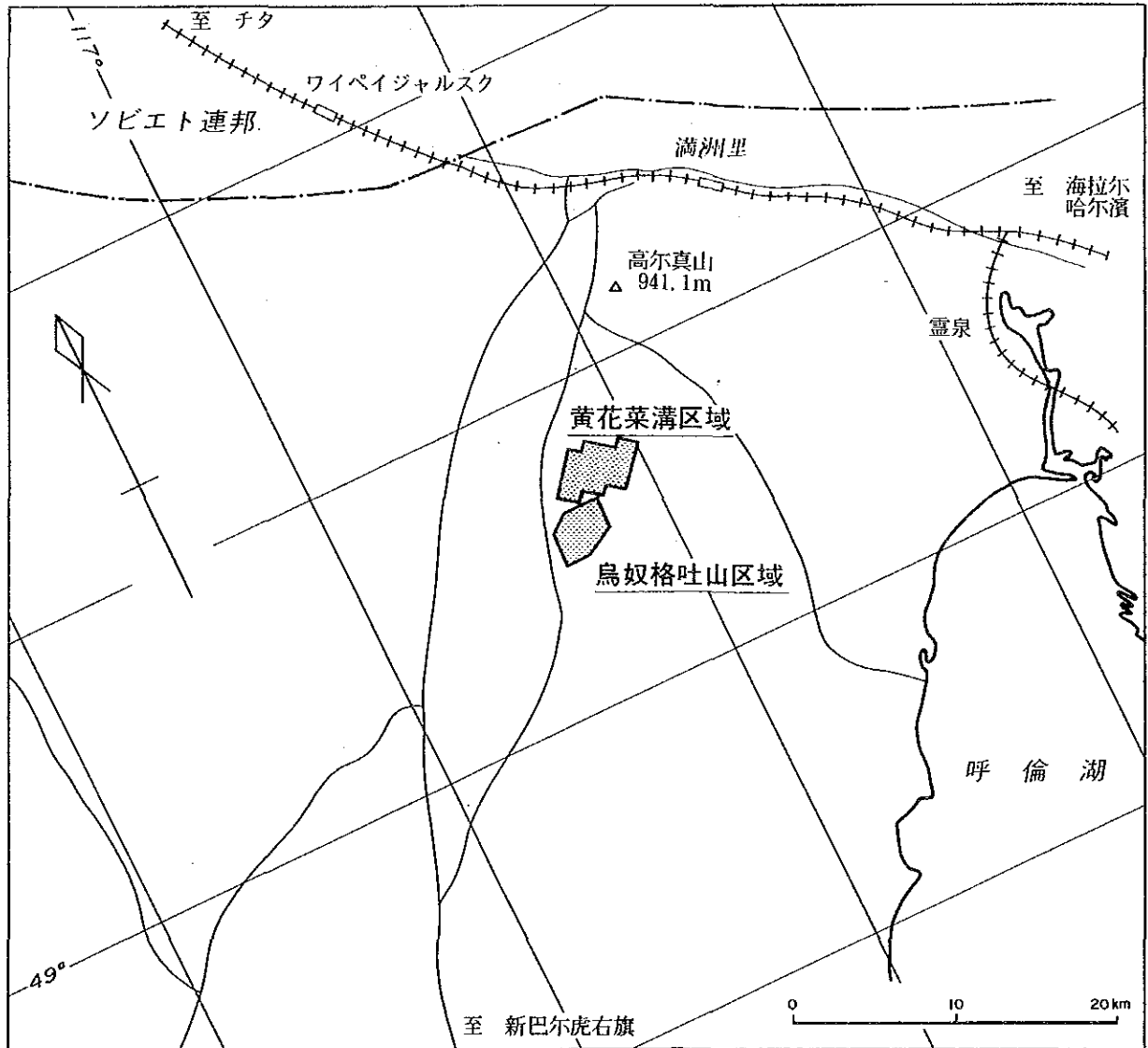
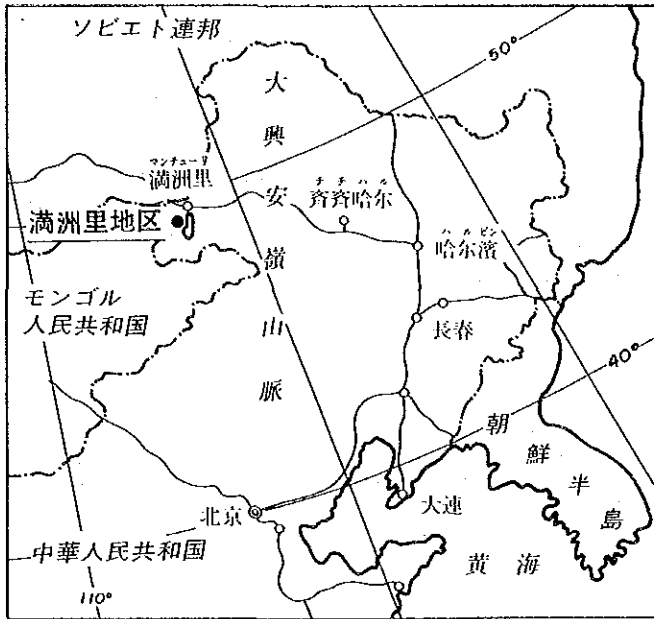


図1 調査地域位置図



# 要 約





## 要 約

第4年次調査は、満洲里地区烏奴格吐山区域及び同地区黄花菜溝区域を対象とした調査及び既存調査資料の検討を行った。

烏奴格吐山地域では、地質調査9km<sup>2</sup>を行うとともに、烏奴格吐山鉱床のうち、北鉱床について、75本、16,012.56mの追加ボーリング調査を行った。その結果、北鉱床は、燕山晩期の岩株状花崗斑岩の貫入に密接に関係した大型斑岩型銅・モリブデン鉱床で、岩株と被貫入岩の燕山早期の黒雲母花崗岩に鉱化・変質作用を生じている。鉱床は岩株を囲むように、南北1,300m、東西1,700m、幅350mの馬蹄形を呈し、北西へ急傾向しながら地表下600m以深まで連続する。鉱化作用は岩株と黒雲母花崗岩の接触部に、輝水鉛鉱（少量の黄鉄鉱・黄銅鉱を伴う）・石英脈が発達し、その外側を黄銅鉱が多量の黄鉄鉱とともに鉱染し、それぞれモリブデン鉱化帯及び銅鉱化帯を形成している。変質作用は岩株を中心に外側へカリ変質帯、フィリック帯、粘土化変質帯に2分され、モリブデン鉱化帯はカリ変質帯に、銅鉱化帯はフィリック帯にそれぞれ胚胎している。鉱床は、地表より溶脱帯、酸化帯、二次硫化物富化帯が層厚50m～60mで認められるが、大部分は初生硫化帯である。さらに、北鉱床のボーリング資料に基づいて鉱量-品位推定誤差を検討した結果、推定誤差は一般的な許容範囲（10%前後）の10.8%～7.0%が得られ、現時点の200m×100m格子ボーリングが適正であることが示された。また、追加ボーリングを行って100m×100m格子を完成させたとしても、推定誤差は10.0%～6.1%に改善されるのみで追加ボーリングの効果は極めて低いことも示された。また、ボーリング孔を中心の鉱画による簡便法で鉱量を試算したところ、北鉱床は億t級であることが示された。このように、第4年次調査の結果、烏奴格吐山北鉱床の鉱化様式・規模が明らかにされるとともに、ボーリング調査は現時点での作業量で十分と考えられるに至った。

黄花菜溝区域では、面積14km<sup>2</sup>について地質調査、地化学探査及び物理探査（IP法）実施され、斑岩型銅・モリブデン鉱化作用に起因する4個所の総合異常帯が抽出された。しかしながら、これら総合異常帯の地化学異常値は低く、IP異常源も深く、さらに個々の総合異常帯の中心またはその近傍には既にボーリング（深度200m～370m）が実施され良好な結果が得られていない。これらのことを考えると、本区域に烏奴格吐山鉱床級の大型鉱床の存在を期待し難く、今後の追加探鉱の必要性は極めて少ないと判断される。

烏奴格吐山区域の既存調査資料からは、本区域内に北鉱床に断層で南接し、既に200m×200m格子ボーリングの行われた烏奴格吐山南鉱床（斑岩型銅・モリブデン鉱床）が胚胎し、さらにその南に地化学異常及び物理探査異常の認められる烏奴格吐山南南区が位置している。現在、これらの調査水準は北鉱床のそれと比較して一段と低く、今後、本区域を総合的に評価して将来に備えるためには、これらの調査を早急に進めることが望ましいと考える。

以上のような第4年次の調査結果から、今後の調査は南鉱床及び南南区を調査対象と考える。

しかしながら、これら両地域は互いに隣接し、南鉱床の鉱化範囲及び南南区の物・化探異常が重複しているので、南鉱床と南南区もそれぞれ独立した調査対象地域としてではなく、一連の調査対象地域としてとらえ、南鉱床の全体像を把握するとともに、南南区の物・化探異常を解明するために、ボーリングを主体とした調査を行うことが望ましいと考える。さらに、これらの調査結果及び既存ボーリングコアの再検討結果に基づき、南鉱床及び南南区、特に南鉱床について地質統計学的手法による解析を行い、本区域の総合評価に資する。また、本区域内の開発最優先鉱床を明らかにし、その選鉱試験の実施について検討することを考える。

# 目 次

はしがき	
調査地域位置図	
要 約	
目 次	
図表一覧	

## 第I部 総 論

第1章 序 論	1
1.1 調査の経緯	1
1.2 第3年次調査の結論と提言	1
1.3 本年度調査の概要	1
1.3.1 調査地域	1
1.3.2 調査目的及び調査内容	1
1.3.3 調査団の編成	3
1.3.4 調査期間	3
第2章 調査地域の地理	4
2.1 位置及び交通	4
2.2 地 形	4
2.3 気候及び植生	4
第3章 一般地質	5
3.1 黒竜江北西部地域の地質概要	5
3.2 満洲里地区の地質概要	6
3.3 満洲里地区の地質構造上の位置	6
第4章 調査結果の総合検討	8
4.1 満洲里地区烏奴格吐山区域	8
4.2 満洲里地区黄花菜溝区域	10
4.3 烏奴格吐山南鉞床及び南南区	11

第5章 結論及び提言 .....	13
5.1 結 論 .....	13
5.2 提 言 .....	14

## 第Ⅱ部 各 論

第1章 満洲里地区烏奴格吐山区域 .....	15
1.1 調査方法 .....	15
1.2 地 質 .....	15
1.2.1 地質概要 .....	15
1.2.2 地質層序 .....	15
1.2.3 貫入岩類 .....	21
1.2.4 地質構造 .....	22
1.3 鉍 床 .....	24
1.3.1 初生鉍化作用 .....	24
1.3.2 変質作用 .....	33
1.3.3 二次富化作用 .....	50
1.4 地質統計学的手法によるボーリング密度の検討 .....	54
1.4.1 第4年次ボーリング調査計画 .....	54
1.4.2 第4年次ボーリング調査結果 .....	60
1.5 鉍量試算 .....	65
1.5.1 銅鉍体とモリブデン鉍体 .....	65
1.5.2 銅換算鉍体 .....	65
1.5.3 カットオフ品位・可採厚の変化と鉍量・品位 .....	66
1.5.4 カットオフと可採厚 .....	67
1.6 考 察 .....	70
1.6.1 地質と鉍化作用 .....	70
1.6.2 鉍床の賦存状況 .....	70
1.6.3 ボーリング密度 .....	71
1.6.4 ま と め .....	71
第2章 満洲里地区黄花菜構区域 .....	72
2.1 調査方法 .....	72
2.2 地 質 .....	73

2.2.1	地質概要	73
2.2.2	地質層序	76
2.2.3	貫入岩類	76
2.2.4	地質構造	78
2.2.5	鉍徴・変質	78
2.3.	地化学探査	83
2.3.1	地化学探査概要	83
2.3.2	単一変量解析	84
2.3.3	主成分分析	92
2.3.4	岩石試料の分析	93
2.3.5	地化学探査異常	94
2.4	物理探査	96
2.4.1	調査結果の解釈	96
2.4.2	室内物性測定	109
2.4.3	モデル計算結果	111
2.5	考 察	116
2.5.1	鉍徴・変質と地質との関係	116
2.5.2	鉍化作用	116
2.5.3	地化学異常と地質との関係	117
2.5.4	物理探査異常と地質との関係	117
2.5.5	ま と め	118
第3章	烏奴格吐山南鉍床及び南南区	121

### 第Ⅲ部 結論及び提言

第1章	結 論	125
第2章	提 言	127

### 文 献

### 資 料

- 資料1 岩石薄片鑑定結果一覧表
- 資料2 鉍石研磨片鑑定結果一覧表

資料3 烏奴格吐山区域トレンチ調査スケッチ図

資料4 物相分析結果一覧表

資料5 比重測定結果一覧表

## 図 表 一 覧

図1 調査地域位置図 .....	巻頭
図2 東アジア大陸地質構造概略図 .....	5
図3 満洲里地区地質概略図 .....	7
図1-1 烏奴格吐山区域トレンチ・ピット位置図 .....	16
図1-2 烏奴格吐山区域ボーリング位置図 .....	17
図1-3 烏奴格吐山区域地質模式層序図 .....	18
図1-4 烏奴格吐山区域地質鉱床図 .....	19
図1-5 烏奴格吐山区域地質断面図 .....	20
図1-6 北鉱床地質・鉱床平面図(700ML) .....	25
図1-7 北鉱床地質・鉱床平面図(500ML) .....	26
図1-8 北鉱床断面図 .....	27
図1-9 均質化温度及び塩濃度の分布(測線G640) .....	31
図1-10 流体包有物の均質化温度 .....	32
図1-11 流体包有物の塩濃度 .....	34
図1-12 K <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> Oダイアグラム .....	48
図1-13 銅の物相分析フローチャート .....	53
図1-14 モリブデンの物相分析フローチャート .....	53
図1-15 Bq・Cu品位のバリオグラム .....	57
図1-16 誤差-鉱量関係図 .....	58
図1-17 全分析資料による分析品位バリオグラム .....	60
図1-18 垂直方向のバリオグラム(1990年) .....	62
図1-19 品位断面図(可採厚15m) .....	68
図2-1 黄花菜溝区域地質模式層序図 .....	73
図2-2 黄花菜溝区域地質図・地質断面図 .....	74
図2-3 ピット・トレンチ位置図及び岩石試料採取位置図 .....	75
図2-4 黄花菜溝区域地質・鉱徴・変質図 .....	82
図2-5 土壤試料採取位置図 .....	83
図2-6 ヒストグラム・頻度分布及び累積頻度分布図 .....	85
図2-7 地化学探査単一変量解析結果図 .....	88
図2-8 地化学探査解析結果図 .....	95
図2-9 物理探査測線・測点配置図 .....	98
図2-10 AR・FE断面図 .....	99



図 2-11	AR 平面図	105
図 2-12	FE 平面図	107
図 2-13	シミュレーション解析図	113
図 2-14	物理探査解析結果図	115
図 2-15	黄花菜溝区域総合解析図	120
図 2-16	烏奴格吐山南鉱床及び南南区地化学異常図	122
図 2-17	烏奴格吐山南鉱床及び南南区既存資料コンパイル図	124

表 1	調査内容と調査量	2
表 1-1	流体包有物測定結果一覧表	30
表 1-2	X線回折条件	36
表 1-3	X線回折結果一覧表	37
表 1-4	絹雲母の変質帯別ポリタイプ出現頻度と結晶度	41
表 1-5	絹雲母のポリタイプ別結晶度	41
表 1-6	分析方法と検出限界	42
表 1-7	全岩分析結果一覧表	44
表 1-8	各成分間の相関係数	47
表 1-9	岩石の化学分析	49
表 1-10	烏奴格吐山鉱床変質帯総括表	50
表 1-11	銅鉱体とモリブデン鉱体（北鉱床）	65
表 1-12	銅換算鉱体（北鉱床）	66
表 2-1	黄花菜溝区域鉱徴・変質帯一覧表	80
表 2-2	地化学探査単一変量解析統計量	87
表 2-3	相関行列	92
表 2-4	固有値及び固有ベクトル	92
表 2-5	地化学探査単一変量解析統計量（岩石試料）	93
表 2-6	相関係数（岩石試料）	94
表 2-7	物性測定結果一覧表	110
表 2-8	黄花菜溝区域総合異常帯一覧表	119

## 付 図

付図 1	烏奴格吐山区域地質鉱床図	(縮尺 1 : 5,000)
付図 2	“ 地質鉱床断面図	(縮尺 1 : 5,000)
付図 3	“ 試料採取位置図	(縮尺 1 : 5,000)
付図 4	黄花菜溝区域地質図・地質断面図	(縮尺 1 : 10,000)

# 第 I 部 総 論



# 第 I 部 総 論

## 第 1 章 序 論

### 1. 1 調査の経緯

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、黒竜江北西部地域のレアメタル総合開発調査の実施を決定し、1987年7月3日、本調査の実施に関する口上書を中華人民共和国政府と交換した。同日、日本国政府が中華人民共和国政府へ発した口上書及び中華人民共和国政府の口上書による回答に基づき、日本側国際協力事業団及び金属鉱業事業団と中国側中国有色金属工業総公司是、調査の実施を定め調印した。本調査は、締結された実施細則に基づき、資源開発協力基礎調査・レアメタル総合開発調査中華人民共和国黒竜江北西部地域の第4年次として実施されたものである。

### 1. 2 第3年次調査の結論と提言

第3年次の調査は第2年次調査で有望とされた吉源林場地区南部区域（面積9km<sup>2</sup>）及び三十六林場北西部地区北部区域（面積80km<sup>2</sup>）における地質及び鉱化作用の詳細を把握すること、満洲里地区（面積50km<sup>2</sup>）について既存探査資料を収集・整理することともに、各地区の現地調査を行い、これら地区の鉱床賦存可能性及び今後の探査方針を検討することを目的として実施された。その結果、吉源林場地区及び三十六林場北西部地区は、いずれも将来、中～大規模鉱床に発展する可能性の小さい地区との結論に達した。しかしながら、満洲里地区については北部の烏奴格吐山区域には有望な斑岩型Cu-Mo 鉱化帯が発見されており、今後さらに精密な調査の必要性が極めて高く、満洲里市に近く立地条件が良好であることなどから早急な調査の実施が望まれる区域であると提言された。

### 1. 3 本年度調査の概要

#### 1. 3. 1 調査地域

本年度の調査は、第3年次の調査結果に基づき、満洲里地区烏奴格吐山区域及びこれに隣接する同地区黄花菜溝区域を対象地域としている（図1）。本地区での鉱徴の発見は、比較的新しく、1960年といわれている。その後、1977年から本格的な調査が行われ、1979年～1981年には構造ボーリングが実施されている。

#### 1. 3. 2 調査目的及び調査内容

##### (1) 調査目的

本年度の調査は、満洲里地区烏奴格吐山区域及び同黄花菜溝区域について、地質状況を解明し、鉱床賦存状況を把握すること及び既存調査資料を検討し、有望地域を抽出することを目的と

して実施された。

(2) 調査内容

調査内容と調査数量及び中国側・日本側の双方で実施した室内試験の項目・数量を表1に示す。

表1 調査内容と調査量

調査内容		調査量		
		烏奴格吐山区域	黄花菜溝区域	合計
地質調査	面積 (km <sup>2</sup> )	9	14	23
	ルート長 (km)	14	35.8	49.8
	ピット調査 (個所)	735	590	1,325
	トレンチ調査 (m)	320	500	820
	既存ボーリングコア調査 (m)	36,100	1,220	37,320
物理探査	測線長 (km)	—	43.5	43.5
	測線数 (本)	—	15	15
	測定間隔 (m)	—	100	100
	測定点数 (点)	—	1,875	1,875
ボーリングコア調査	深掘ボーリング (本, m)	31本 13,464.66	—	31本 13,464.66
	浅掘ボーリング (本, m)	44本 2,547.90	—	44本 2,547.90
	計 (本, m)	75本 16,012.56	—	75本 16,012.56
室内試験	1) 岩石薄片作成・鑑定 (枚)	53	20	73
	2) 鉱石研磨片作成・鑑定 (枚)	50	5	55
	3) ホーリングコア分析 (件)	8,051	—	8,051
	4) X線回折 (件)	100	20	120
	5) 全岩分析 (件)	50	20	70
	6) 岩石分析 (件)	—	282	282
	7) 土壌分析 (件)	—	737	737
	8) 流体包有物試験 (件)	30	—	30
	9) 物相分析 (件)	41	—	41
	10) 比重測定 (件)	20	—	20

ボーリングコア分析：Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Ag, Sの7成分  
 岩石分析・土壌分析：Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Ag, As, Hgの8成分

### 1.3.3 調査団の編成

第4年次調査団は以下の調査員から構成された。

#### (1) 協定折衝及び現地指導監督

##### (a) 日本側

清水 浩 (金属鉱業事業団)  
小山恭一 ( " )  
小堀 浩 ( " )  
小岩孝二 ( " )  
目次英哉 ( " )  
石田 真 ( " , 北京連絡員)

##### (b) 中国側

陳鉄生 (中国有色金属鉱業総公司)  
劉善方 ( " )  
袁傳盛 ( " )  
崔虎林 ( " )  
房学増 (黒竜江地質調査局)  
金昌斗 ( " )  
顔 平 ( " )  
孫希濂 (黒竜江地質調査局 702隊)

#### (2) 現地調査

##### (a) 日本側

富沢尚明 (海外鉱物資源開発株式会社)  
武山 眞 ( " )  
久谷公一 ( " )  
片山次男 ( " )  
南野正彦 (大手開発株式会社)  
田中富雄 ( " )  
菅原公平 ( " )

##### (b) 中国側

任 良 (黒竜江地質調査局)  
金昌斗 ( " )  
唐春發 ( " )  
李長珠 (黒竜江地質調査局 702隊)  
程 凱 ( " )  
孫希濂 ( " )  
史瑞民 ( " )  
韓春甫 ( " )  
衣喜奎 ( " )  
蔵延平 ( " )  
宋 民 ( " )

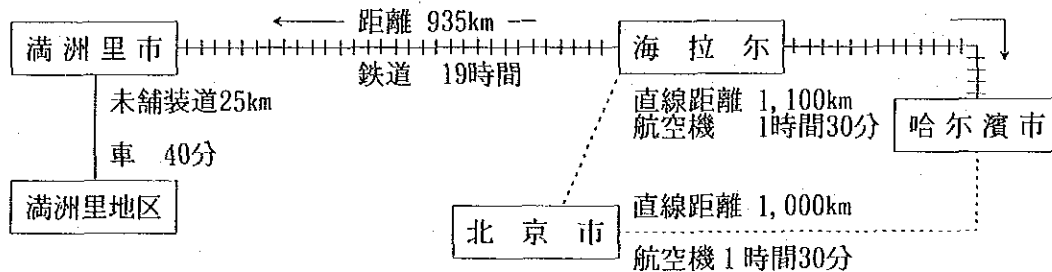
### 1.3.4 調査期間

現地調査及び現地解析期間は平成2年6月25日から平成2年9月21日までの(89日間)である。

## 第2章 調査地域の地理

### 2.1 位置及び交通

満洲里地区は、中華人民共和国北部のおおよそ北緯49° 25′，東経 117° 15′，モンゴル人民共和国及びソビエト社会主義共和国連邦との国境付近に位置し、行政上は内蒙古自治区新巴尔虎右旗に属する。位置交通関係は次の通りである。



調査地域内は、やや起伏のある丘陵地となっているが、一面の草原地であるため自動車の走行に支障はない。

### 2.2 地 形

本地区は呼倫貝爾大草原の一角にあり、標高 750m～900m，比高 100mから 150m程度のやや起伏のある緩やかな老年期の地形を呈する。水系は常時水の流れている川はない。樹木は1本もなく高さ20cm～30cmの草が地表全体を覆っている。調査区域の最高点は烏奴格吐山区域の北鉢床頂部（海拔 890.2m）である。

### 2.3 気 候

満洲里地区の気候は、中国自然地理図集（1984）によれば中温帯亜乾燥大区（Ⅱ<sub>3</sub>）に区分され、冬が長く夏春秋が短い。満洲里市における気象統計によると気温は年平均-1.2℃，夏は7月で月平均19.6℃，最高37.9℃，冬は1月で平均 -23.8℃，最低 -42.7℃の記録がある。降水量は年平均 298.2mmと少いが、夏雨集中型で6月～8月に約66%の降水量がある。10月～11月は冬の降雪期で時に20cm程度の積雪がある。湿度は年平均約60～65%，夏の雨期には70～75%となる。風は春に北西風，夏に東風，秋と冬は南風で，風速は一般に5～10m/秒が多い。5～6月には北風（20～30m/秒）の強い嵐となることがある。

### 第3章 一般地質

#### 3.1 黒竜江北西部地域の地質概要

本地域はシベリア卓状地南東縁に発達したカレドニア造山帯、その外縁のバリスカン造山帯及びバリスカン造山運動で付加した小さなアムリア地塊よりなる。その地質は付加地塊の存在により、アムリア地塊及びその東西両側の3つの部分に分けて考えることができる。

中央のアムリア地塊は結晶片岩類よりなる先カンブリア系基盤と、それを広く覆う陸性堆積物よりなる中・新生界で構成され、平坦な地形を呈する。

本地塊の西側は大興安嶺から満洲里に至る地域で、カレドニア・バリスカン両造山帯及び燕山期造山運動時の様々な岩石よりなる。地質構造はカレドニア造山運動時のNE-SW方向が基本で、それ以降の活動を規制している。カレドニア造山帯は陸化・削剝され、主に先カンブリア系変成岩類よりなる褶曲帯である。バリスカン造山帯には地向斜性堆積物のほか、造山運動時貫入の花崗岩類が多数分布する。本帯は古生代末までに陸化し、風化削剝を受けたのち、ジュラ紀の火山活動による酸性溶岩・火砕岩類に覆われた。燕山期にはこれら両造山帯に花崗岩、閃緑岩など種々の火成岩類が貫入しており、Cu・Mo, Pb・Zn, Agなどの鉱化作用を伴うものもある。

アムリア地塊の東側はバリスカン造山帯の一部であるが、本地域は西側地域と異なり三畳紀の海成堆積物が分布し、中生代前期までは海域であったことを示している。燕山期には西側地域と同様に、種々の火成活動があった。

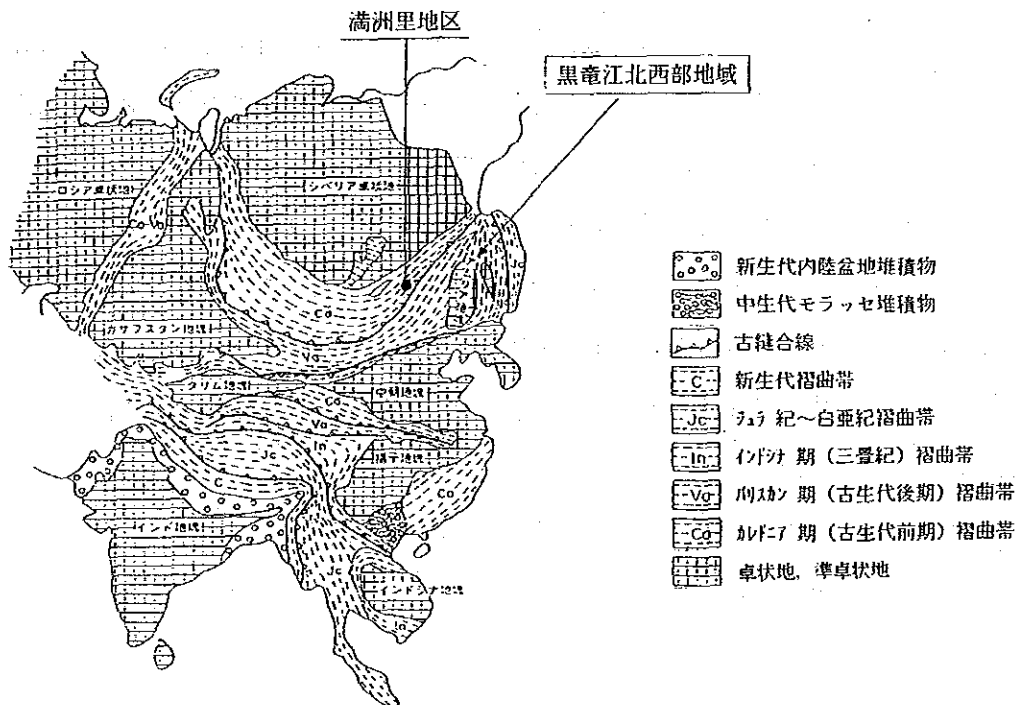


図2 東アジア大陸地質構造概略図(丸山・酒井1986を簡略化)



### 3.2 満洲里地区の地質概要

満洲里地区はカレドニア造山帯中であり、かつパリスカン造山帯の活動が重複した地域に属する。本地区の地質は古い順に以下のように構成されている。基盤は先カンブリア系の結晶片岩類で、地区の北部に分布している。これを覆ってパリスカン造山帯に属する古生界デボン系・二畳系の堆積岩類・火山岩類が北東部と南西部に分散して露出し、これらにパリスカン期花崗岩類（海西期）が貫入しているが、その貫入活動は黒竜江北西部地域の他の地区のそれと比較して極めて小規模である。本地区の大部分の地域はパリスカン造山運動後に陸化し、三畳系を欠いてジュラ系の陸成層によって広く覆われている。この上に白亜系の陸成堆積物が部分的に分布している。これらに中生代末燕山期花崗岩類が貫入している。いずれもカレドニア造山帯以降の構造及び古生代末期花崗岩類の貫入配列の方向とほぼ一致するNE-SW系に沿って点在している。新生界は第三系の湖成堆積物及び第四系の現世河床堆積物で、いずれも低地を埋めて分布している。

### 3.3 満洲里地区の地質構造上の位置

本地区は、地質構造の上ではシベリア卓状地の南東縁に形成されたカレドニア造山帯の「額<sup>アム</sup>尔<sup>コ</sup>古<sup>ン</sup>納<sup>カ</sup>レドニア褶曲帯」に属し、先カンブリア系結晶片岩類を基盤としている。地質構造は本造山運動のNE-SW方向が基本で、本褶曲帯の東縁にはNE-SW方向の深部に達する「額<sup>アム</sup>尔<sup>コ</sup>古<sup>ン</sup>納<sup>フ</sup>ー<sup>ロン</sup>湖断裂帯」が走り、東方の大興安嶺地区と境している。大断裂帯を含むNE-SW方向の構造は、長期に持続し、その後の造山運動を規制している。古生代後半のパリスカン造山運動は、この基本構造に規制されて生じたが、本地区付近では小規模であった。中生代後半からの燕山造山運動は両地塊に変位差を生じながら全体を沈降させるようなブロック運動を生じ、NE-SW系の深断裂帯の引続く活動及び地殻深部からのマグマの上昇とマグマ溜りの形成を促した。さらにこの運動によりNE-SW方向の基本構造に斜行するNW-SE方向の二次構造が形成された。その後、この二次構造は長期の脈動活動を続け、基本構造との斜交部を中心に、二次構造に沿った鉱化作用を規制した。

烏奴格吐山及び黄花菜溝両区域は、これらの両方向の構造の斜交部近くに位置し、鉱床形成に有利な条件を備えているといえる。

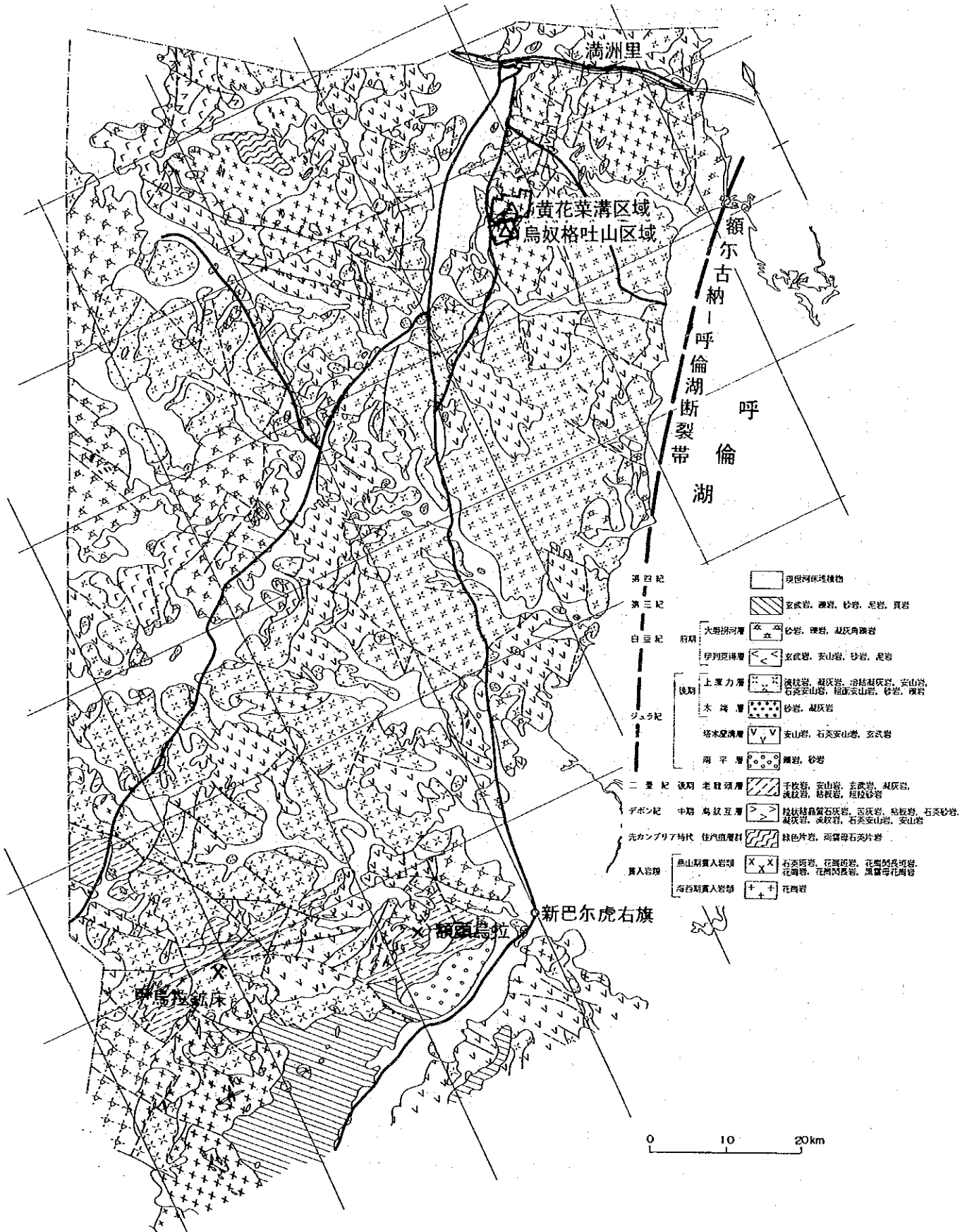


图3 滿洲里地区地質概略圖

## 第4章 調査結果の総合検討

### 4.1 満洲里地区烏奴格吐山区域

(1) 調査概要：本区域の烏奴格吐山鉱床は、大型の斑岩型銅・モリブデン鉱床で、そのほぼ中央部をWNW-ESE走向に横切るF7断層により、南・北両鉱床に分断されている。第4年次調査は本鉱床の主部を占める北鉱床に対するボーリング調査が主体で、ボーリング孔は200m格子の既存ボーリング資料の地質統計学的解析により、鉱体の短軸方向に100mごととなるように配置された。

(2) 地質鉱床：鉱床は燕山晩期の岩株状花崗斑岩の貫入に密接に関係し、花崗斑岩の外周部及び母岩の燕山早期黒雲母花崗岩中に胚胎する。また、後鉱化作用の石英安山岩が花崗斑岩の東半分には岩脈状にみられる。

北鉱床は南北1,300m、東西1,700m、見掛け幅350mの南に開いた馬蹄形状で、地表より下部へ溶脱帯(厚さ20m~30m)、酸化帯(約30m)及び二次富化帯(0m~50m)がみられ、その下に初生鉱化帯が深度600mまで確認されている。全体に北西へ急傾斜している。

(3) 鉱化・変質：初生鉱化帯は銅及びモリブデン品位により、内側のモリブデン鉱体(0.02% Mo以上)及び外側の銅鉱体(0.2% Cu以上)に累帯分布する。

モリブデン鉱体は、花崗斑岩の外周部及びこれに接する黒雲母花崗岩に胚胎し、深度600mまで確認され、さらに深部へも連続するが深度による品位変動は小さい。

銅鉱体は黒雲母花崗岩中に胚胎しており、その多くは0.2% Cu~0.4% Cuで、0.4% Cu以上の高品位部は主に馬蹄形の東部分に分布する。銅鉱化作用は深度の増加とともに弱くなり、深度300m以深では高品位部はわずかである。

初生鉱物は黄銅鉱、輝水鉛鉱、黄鉄鉱を主とし、少量の閃亜鉛鉱、微量の方鉛鉱、キューバ鉱、四面銅鉱などを伴う。黄鉄鉱と黄銅鉱は細粒鉱染状に存在し、輝水鉛鉱は少量の黄鉄鉱、黄銅鉱を伴って石英細脈にみられる。鉱体内側のモリブデン鉱体では輝水鉛鉱(黄鉄鉱、黄銅鉱)石英細脈が発達するが外側の銅鉱体に向って減少し、逆に鉱染状の黄鉄鉱、黄銅鉱は外側の銅鉱体で発達する。さらに、外側へ向うと脈幅数10cm以上の不毛石英脈や粗粒黄鉄鉱脈が多くなり、閃亜鉛鉱もみられるようになる。

変質作用は石英、カリ長石、絹雲母、加水雲母、モンモリロナイト、カオリン、方解石などの変質鉱物の組合せによりカリ変質帯(カリ長石)、フィリック帯(石英、絹雲母)、粘土化変質帯(加水雲母、モンモリロナイト、カオリン)の3つの変質帯に区分できる。カリ変質帯は鉱化作用をもたらした花崗斑岩中心部の不毛帯からモリブデン鉱体に、そしてフィリック帯は銅鉱体にはほぼ一致する。なお、斑岩型鉱床の変質作用の累帯分布の最外側に一般的なプロピライト帯は、ここではみられなかった。

本鉱床の生成温度は、流体包有物の均質化温度からはカリ変質帯(平均388℃)、フィリック

帯(371°C) ,そして粘土化変質帯(350°C)と外側へ順次低下し、花崗斑岩の岩株を中心とする地質構造と一致しているが、絹雲母の結晶度はこれとは逆の傾向を示している。また、全岩分析ではカリ変質帯のNa<sub>2</sub>O含有量がフィリック帯及び粘土化変質帯より増加しているという一般とは逆の関係がみられる。このような現象は、鉱床形成後に石英安山岩が花崗斑岩中に貫入した際、もしくは鉱化作用直後の新たな花崗斑岩の貫入の際に弱い熱水作用を生じ、周囲に微量のNa<sub>2</sub>Oの添加と絹雲母の再結晶による低結晶度化をもたらしたことが考えられる。

本鉱床の溶脱帯は多量の褐鉄鉱、赤鉄鉱で特徴づけられ、一般に厚さ20m~30m程度であるが、本鉱床北東部ではこれを欠き、酸化帯が直接露出している。酸化帯はくじゃく石を主に、藍銅鉱、珪くじゃく石が斑点状、細脈状にみられる。層厚は数mから50m程度に変化する。二次富化帯は輝銅鉱、銅藍、斑銅鉱の存在で特徴づけられ、下位の初生鉱化帯より銅品位が1.5倍~3倍程度上昇している。厚さは数mから断層付近での100m程度まで変化するが平均50m程度である。

(4) 既存ボーリング資料の地質統計学的解析：第4年次ボーリング調査は、統計地質学的手法（クリッキング法、Kriging法）に基づき、ボーリングパターンが200m×100m格子となるように、本鉱体短軸方向の測線上でボーリングを実施した。その結果、当初推定に比べ、バリオグラムのナゲット、シル、ナゲットーシル比の減少とレンジの増大が認められた。これは第4年次の短軸方向での100m間隔のボーリングが増加したことと、入力分析値の増加・訂正があったことなどによる。これらパラメータを用いて年間出鉱量520万tまたは1,170万tに見合う品位推定誤差を求めたところ、品位誤差は10.8%~7.0%と見込まれること、現状の200m×100m格子にさらにボーリングを追加して100m×100m格子にしたとしても、誤差は10.0%~6.1%までにしか向上しないことが判明した。従って、北鉱床に対する今後の追加ボーリングの効果は極めて低いことが示された。

(5) 鉱量試算：北鉱床の銅鉱体及びモリブデン鉱体について、ボーリング孔を中心とする四角形を鉱画とした簡便法により鉱量試算を行った。その結果をカットオフ品位及び可採厚（鉱画の高さ）別に示す。

		カットオフ 0.2% Cu	カットオフ 0.4% Cu
銅 鉱 体	可採厚 2 m	321百万 t (0.335% Cu)	72百万 t (0.534% Cu)
	可採厚 15m	319百万 t (0.310% Cu)	55百万 t (0.480% Cu)
		カットオフ 0.02% Mo	カットオフ 0.05% Mo
モリブデン鉱体	可採厚 2 m	595百万 t (0.048% Mo)	218百万 t (0.080% Mo)
	可採厚 15m	622百万 t (0.045% Mo)	234百万 t (0.069% Mo)

銅鉱体はカットオフ品位が0.2% Cu から0.4% Cuへ変化すると鉱量が大幅に減少しているため、鉱量の多く（約80%）が0.4% Cu未満で占められていることがわかる。さらに、カットオフ0.4% Cuでも、可採厚が2mから15mへ変化すると鉱量が24%減となり、0.4% Cu以上

の部分は深度により小刻みな品位変化することを示す。

同様にモリブデン鉱体も鉱量の約60%が0.05%Mo未満で占められていることがわかる。さらに、可採厚が2mから15mへ変化すると鉱量は増加するが品位は低下するので、モリブデン高品位部が脈動的に存在することを示す。

また、銅換算品位 ( $\text{Eq. Cu \%} = \text{Cu \%} + 2.5\text{Mo \%}$ ) で区分した鉱体について同様の概算を試みた。

		カットオフ 0.2% Eq. Cu	カットオフ 0.4% Eq. Cu
銅換算鉱体	可採厚 2 m	636百万 (0.331% Eq. Cu)	138百万 (0.535% Eq. Cu)
	可採厚 15m	674百万 (0.307% Eq. Cu)	111百万 (0.490% Eq. Cu)

銅鉱体・モリブデン鉱体の個別の計算基準は、カットオフ品位を銅では0.2%Cu, 0.4%Cu, モリブデンでは0.02%Mo, 0.05%Moとしたが、この基準ではモリブデン品位が銅品位の10~8倍 ( $0.2/0.02 \sim 0.4/0.05$ ) 相当とみなすことになる。一方、銅換算鉱体ではモリブデン品位を銅品位の2.5倍という基準に設定しており、0.2%Cuは0.080%Mo, 0.4%Cuは0.160%Moに相当する。また、可採厚については、本鉱体が大型低品位鉱床であり、開発方式は露天掘りなどの大型採掘法によると考えられるので、かなりの部分が可採厚2mの場合では可採鉱量ではあっても、15m可採厚の採掘では不可採鉱量になっている。このようなモリブデン評価及び可採厚の取り方の違いが、それぞれの鉱量試算の結果に反映されている。

(6) まとめ：以上のべたように、第4年次の地質調査及びボーリング調査の結果、烏奴格吐山鉱床北鉱床について、地質、鉱化作用及び変質作用が明らかにされ、鉱床の概要が把握された。さらに、地質統計学的解析により、ボーリング調査のこれ以上の実施は鉱量計算の精度をこれ以上大きく高めはせず、現時点での作業量で十分なことが示された。

#### 4.2 満洲里地区黄花菜溝区域

本区域について、地質調査、地化学探査及び物理探査を実施し、次の結論を得た。

本区域の地質はわずかに分布する石炭系結晶質石灰岩、ジュラ系流紋岩類及び広く分布する燕山期の貫入岩類、さらにこれらを覆う第四系よりなる。燕山期貫入岩類は早期・晩期に区分され、早期貫入岩類は主に黒雲母花崗岩でバソリス状に貫入し、広く分布する。一方、晩期貫入岩類はアルカリ長石花崗岩、斑状花崗岩、花崗斑岩よりなり、早期の黒雲母花崗岩中に岩株状あるいは岩脈状に貫入している。地質構造は額尔古納—呼倫湖断裂帯の影響を受けNE—SW方向が卓越するが、NW—SE方向、N—S方向も発達し、これらの構造が燕山晩期貫入岩類の活動を規制していることを示す。

本区域では地質調査により主な鉱徴・変質帯が4箇所抽出されたが、これらは燕山晩期の岩株状斑状花崗岩・花崗斑岩の活動と密接な関係にある。各鉱徴・変質帯とも地表では中心に石英—

絹雲母-加水雲母化帯、周辺に絹雲母-加水雲母化帯の変質帯がみられ、網状石英脈や鉍染状黄鉄鉍が発達する。既存ボーリングコアでは鉍染状や石英脈に伴う黄銅鉍・輝水鉛鉍がみられ、珪化・絹雲母化を主とする変質帯が発達していることから、本区域内の鉍化作用は斑岩型Cu・Mo鉍化作用を表すものと考えられる。

地化学異常は4箇所の主要鉍化・変質帯に検出された。異常域は中心部から周縁部へCu・Mo → Pb・Zn → Au・Ag(As)と分帯し、斑岩型鉍化作用と調和する分布を示したが、各元素の絶対値が低いことを特徴としている。

物理探査のF E異常も地化学異常と同様に4箇所の主要鉍化・変質帯とほぼ一致した範囲に検出された。

このように本区域内の4箇所の主要鉍化・変質帯と地化学異常及びF E異常が調和的に対応しているため、それぞれについて総合的に検討した。

- ① 868 高地：燕山晩期の貫入岩活動が盛んで変質帯と地化学異常が発達する。F E異常のモデル計算では異常源が地表下約50m以深に推定されたが、既存ボーリングの結果では低品位Cu・Moが認められたのみで、地表近くに優勢な鉍化帯が存在する可能性は極めて低いと考えられる。
- ② 845.6 高地：地表には変質帯と地化学異常がみられる。F E異常のモデル計算では異常源が地表近くに推定されたが、既存ボーリングの結果では優勢な鉍化帯を捕捉していない。
- ③ 888 高地：地表には広範囲の変質帯と地化学異常がみられる。F E異常が地表下50mから深部に伸長するが、その近傍の既存ボーリングでは低品位Cu・Mo鉍化作用が認められたのみである。
- ④ 831 高地：地表には広い範囲に変質帯がみられ、地化学異常も広い分布を示す。F E異常は地表下150m以深の小規模な異常の集合体を表すと考えられる。本異常域の西部で実施されたボーリング孔では微弱なCu・Mo鉍化作用が認められたのみである。

以上述べたように、本地区で抽出された4箇所の異常域は燕山晩期の岩株状貫入岩類に伴う斑岩型Cu・Mo鉍化作用の特徴を備え、地化学異常及びF E異常が検出されたが、地化学異常値は低く、I P異常源も地下深く、しかもこれら異常域の中心またはその近傍に深度200～370mのボーリングが既に実施されているにもかかわらず、良好な結果を得ていない。これらのことから本区域の4箇所の異常域の地表近くには烏奴格吐山鉍床級の大型の斑岩型銅・モリブデン鉍床の存在を期待し難く、今後の追加探鉍の必要性は極めて少ないと判断される。

#### 4.3 烏奴格吐山南鉍床及び南南区

既存資料によると、烏奴格吐山北鉍床に南接して、同南鉍床が胚胎し、さらにその南の南南区に地化学異常及び物理探査異常が認められている。南鉍床と北鉍床は、元来1つであった斑岩型銅・モリブデン鉍床がF7断層で二分されたもので、1979年～1981年の200m×200m格子のボーリング調査の結果、南鉍床は北鉍床に比較して鉍床規模が劣るとされ、その全体像を把握す

ることなく調査を中断した鉱床である。その規模は、東西約 800m、南北約 1,000mで、比較的まとまった形態と考えられる。南南区は1990年8月～9月の土地化学探査（Cu, Pb, Zn, Mo, Ag）及び物理探査（SP法）の結果、SP異常とそれに重複する地化学異常が認められている場所である。

このように、南鉱床が胚胎し、南南区に地化学異常及びSP異常が認められているものの、これらの調査水準は北鉱床のそれに比べて一段と低く、今後、本区域を総合的に評価し、将来の開発に備えるためにも、南鉱床及び南南区の調査を早急に進めることが望ましい。

## 第5章 結論及び提言

### 5.1 結論

#### 5.1.1 烏奴格吐山区域

烏奴格吐山鉍床、特にその北鉍床について地質調査及びボーリング調査を実施した結果、北鉍床は、燕山晩期の岩株状花崗斑岩の貫入と密接に関係して形成された大型の斑岩型銅・モリブデン鉍床で、花崗斑岩と被貫入岩の燕山早期の黒雲母花崗岩に鉍化・変質作用を生じていることが明らかとなった。本鉍床の形態は、花崗斑岩を中心とする南北 1,300m、東西 1,700m、幅 350 mの馬蹄形を呈し、北西方向へ急傾斜しながら地表下 600m以深まで続き、億t級の規模で胚胎する。地表には溶脱帯（厚さ 0 m～30m）が認められ、その下に酸化帯（平均30m）、二次富化帯（0 m～80m）が発達するが、大部分は初生鉍化帯である。その鉍化作用は花崗斑岩と黒雲母花崗岩の接触部に輝水鉛鉍を主に少量の黄鉄鉍、黄銅鉍を伴う石英細脈が発達してモリブデン鉍体を、その外側に黄銅鉍が多量の黄鉄鉍とともに鉍染して銅鉍体をそれぞれ形成している。変質作用は、花崗斑岩を中心に外方へ、カリ変質帯、フィリック帯、粘土化変質帯が区分され、モリブデン鉍体はカリ変質帯に、銅鉍体はフィリック帯に、それぞれ対応する。

一方、地質統計学的手法により、北鉍床についての第4年次ボーリング計画を立案するとともに、実施後に再解析を行った。その結果、第4年次の短軸方向 100m間隔のボーリングが極めて有効で、本鉍床の品位推定誤差が一般的な許容範囲である10%前後、10.8%～7.0%を示した。さらに、ボーリング格子を 100m×100mに細かくしても、誤差は10.6%～6.1%に改善されるのみで、追加ボーリングの効果が極めて低いことが推定された。また、ボーリング孔を中心の鉍画による簡便法で鉍量を試算したところ、億t級の鉍床であることが示された。

以上述べたように、烏奴格吐山鉍床北鉍床の地質、鉍化・変質作用が明らかにされ、鉍床規模が把握されるとともに、ボーリング調査は、現時点でのボーリング密度で十分であることがわかった。

#### 5.1.2 黄花菜溝区域

地質調査、地化学探査及び物理探査の結果、本区域内に4個所の総合異常帯が抽出された。これらの総合異常帯は燕山晩期の岩株状花崗斑岩の貫入に密接に関係し、斑岩型銅・モリブデン鉍化作用に起因する鉍化・変質帯及び地化学異常分帯が分布し、また地下にIP異常が検出された。

しかしながら地化学異常の絶対値は低く、IP異常源の規模も小さく、深度も深い。さらに個々の総合異常帯の中心またはその近傍で既に実施されているボーリング（深度 200m～370m）では良好な鉍化は認められていない。これらのことを考えると、本区域には烏奴格吐山鉍床級の大型鉍床の存在を期待し難く、今後の追加探鉍の必要性は極めて少ないと判断される。



### 5.1.3 烏奴格吐山南鉱床及び南南区

烏奴格吐山区域を既存資料に基づいて広くみると、本区域内には烏奴格吐山北鉱床に断層で南接する同南鉱床が胚胎し、その南の南南区には地化学異常及び物理探査異常が認められている。現在、これらの調査水準は、北鉱床に比較して一段と低く、今後、本区域を総合的に評価して将来に備えるためにも、南鉱床及び南南区の調査を早急に進めることが望ましいと考える。

## 5.2 提 言

第4年次調査の結果、烏奴格吐山北鉱床の探鉱は現時点での調査量で十分であり、黄花菜溝区域への今後の追加探鉱の必要性は極めて少ないこと、そして既存調査資料に基づいて、烏奴格吐山南鉱床及び同南南区の調査を早急に進めることが望ましいと結論された。

南鉱床と南南区とは互いに隣接した位置にあり、地化学異常及び物理探査異常はこれら全域にまたがって認められている。さらに、南鉱床の全体像も明らかにされていない現時点では、南鉱床から南南区を一連の調査対象地域としてとらえ、南鉱床の全体像を把握し、南南区の地化学異常及び物理探査異常を解明するために、ボーリングを主体とした調査を行うことが望ましいと考える。さらに、これら調査結果及び既存ボーリングコアの再検討結果に基づき、地質統計学的手法による解析を行い、本区域の総合評価に資する。また、本区域内の開発最優先鉱床を明らかにし、その選鉱試験の実施について検討することが考えられる。

## 第Ⅱ部 各 論



## 第Ⅱ部 各 論

### 第1章 満州里地区烏奴格吐山区域

#### 1.1 調査方法

本区域では地質調査、ボーリング調査のコア鑑定及び既存探査試料の収集検討を行った。

各調査は日本人技術者1名からなる調査班を4班編成し、実施した。

地質調査は縮尺1:5,000の地形図を使用して行った。なお、ボーリング調査範囲内では縮尺1:2,000の地形図を使用した。本区域は緩やかな草原地となっており、地表を表土が被覆している。そのため、調査ルートは中国側が掘削したトレンチ・ピットを結んで設定した。トレンチ・ピット位置図を図1-1に示す。

ボーリング調査のコア鑑定は、烏奴格吐山鉞床北鉞床のボーリングについて実施した。ボーリング位置図を図1-2に示す。コア鑑定に際してはデータのコンピュータ入力を考慮して、岩石名や鉞物の量比など記載内容を極力記号化し、縮尺500分の1の柱状図を作成した。そして、本年度に掘削したボーリングのコアから必要に応じて室内試験用の試料採取を行った。各調査量は表1に示してある。

#### 1.2 地 質

##### 1.2.1 地質概要

烏奴格吐山区域の地質は石炭系、第四系、燕山早期の貫入岩類及び燕山晩期の貫入岩類からなる。地質模式層序図を図1-3に、地質鉞床図を図1-4に、そして地質断面図を図1-5に示す。

石炭系は砂岩、石灰岩からなり、区域南部の狭い範囲に分布する。燕山早期貫入岩類は黒雲母花崗岩、アプライトからなる。黒雲母花崗岩は本区域内に広く分布し、烏奴格吐山鉞床の主要な鉞床母岩となっている。燕山晩期貫入岩類は流紋岩、花崗斑岩、石英安山岩、グラノファイア、斑状流紋岩、安山玢岩などからなり\*1、本鉞床は花崗斑岩の貫入に伴って熱水活動が生じ、形成したと考えられる。

本区域は額爾古納褶曲帯に属し、NE-SW方向の構造が発達する。一方、主構造のNE-SW系に斜交するNW-SE系やWNW-ESE系の構造も認められる。

##### 1.2.2 地質層序

###### (1) 石炭系

砂岩及び石灰岩からなり、区域南部に小規模に分布する。本層は烏奴格吐山区域の最下位層に

---

\*1 流紋岩、石英安山岩は本来火山岩であるが、ここでは中国側の分類に従って貫入岩とする。

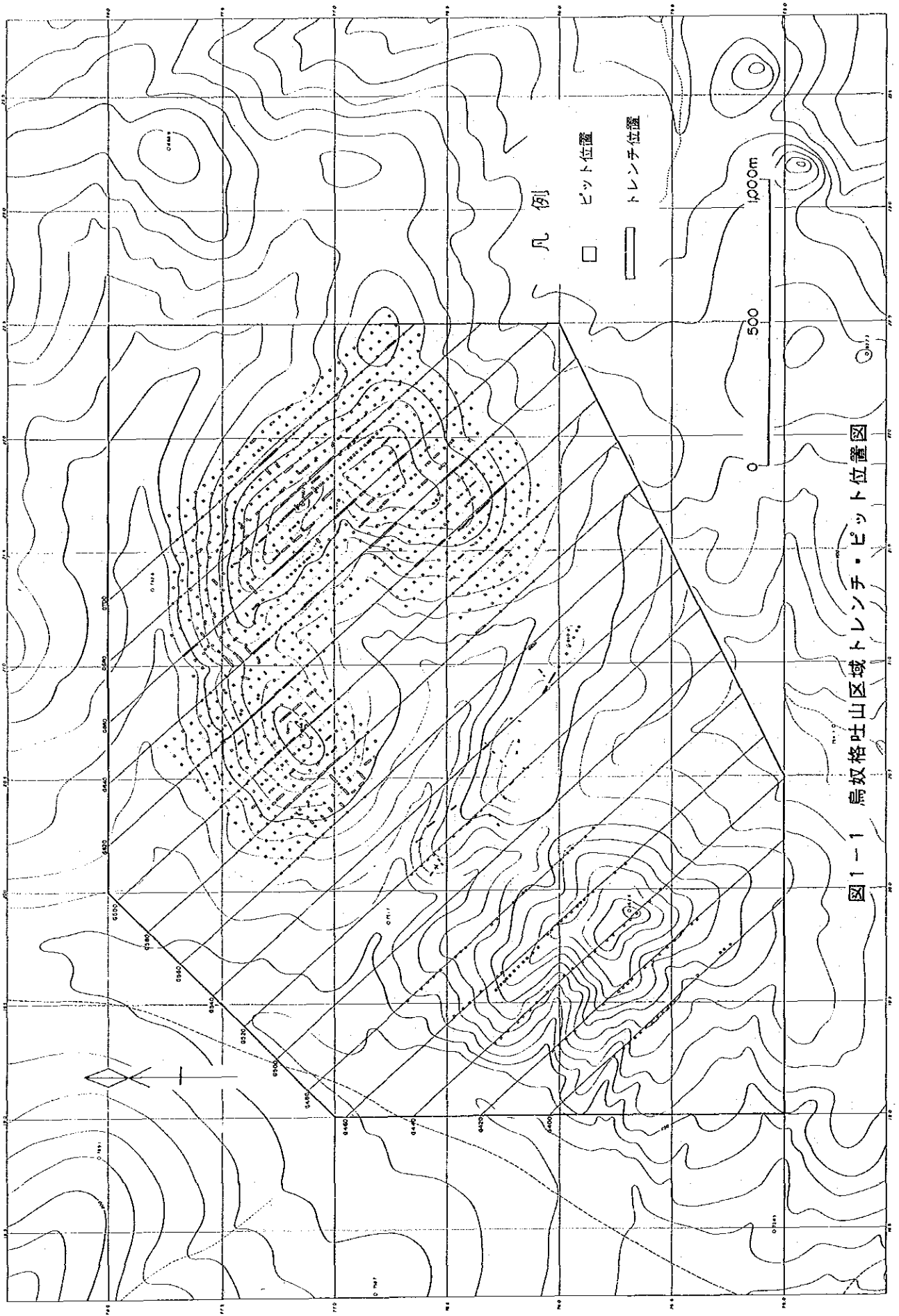
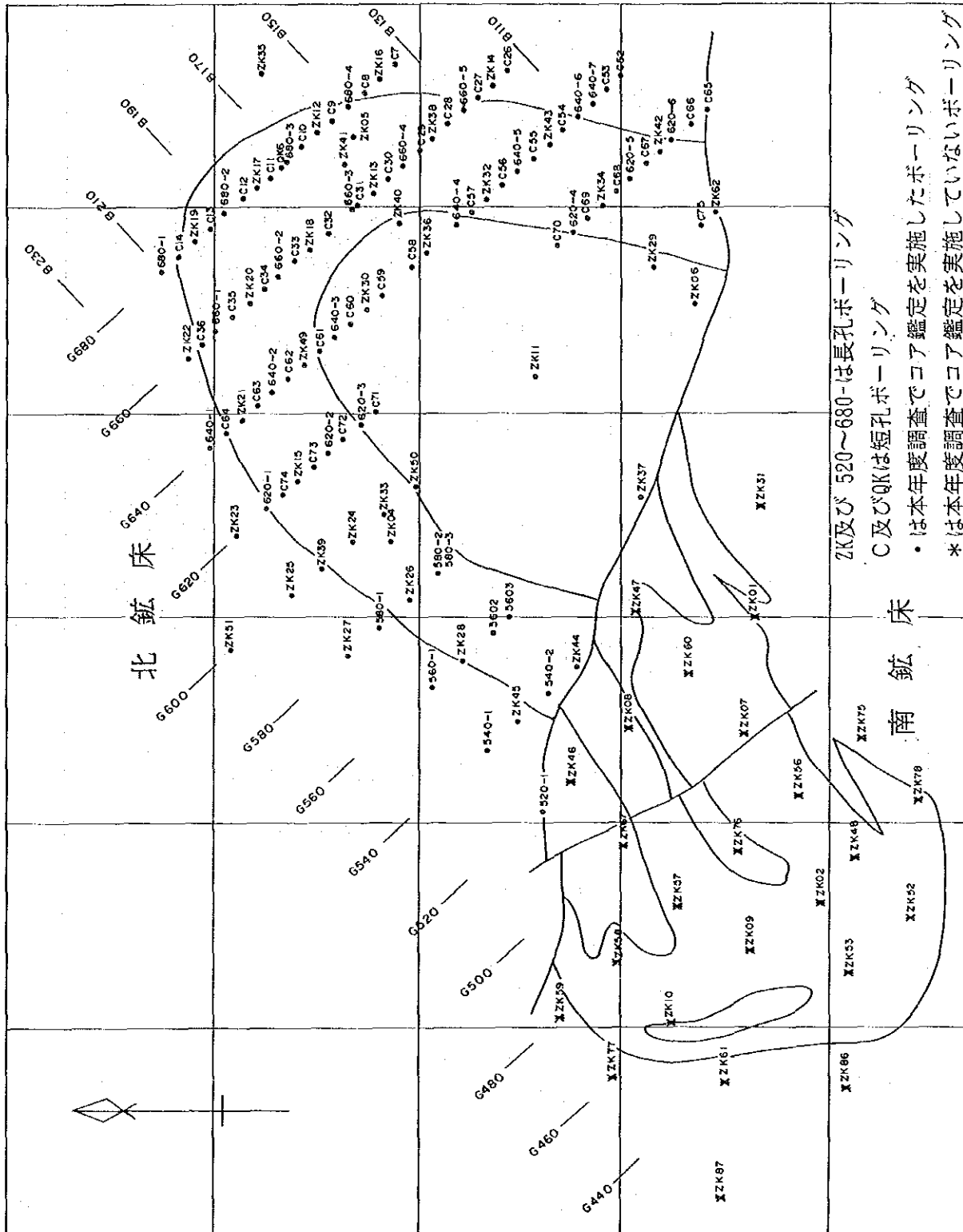


図1-1 烏奴格吐山区域トレンチ・ピット位置図



ZK及び 520~680-は長孔ボーリング

C及びQKは短孔ボーリング

・は本年度調査でコア鑑定を実施したボーリング

\*は本年度調査でコア鑑定を実施していないボーリング

図1-2 鳥奴格吐山区域ボーリング位置図

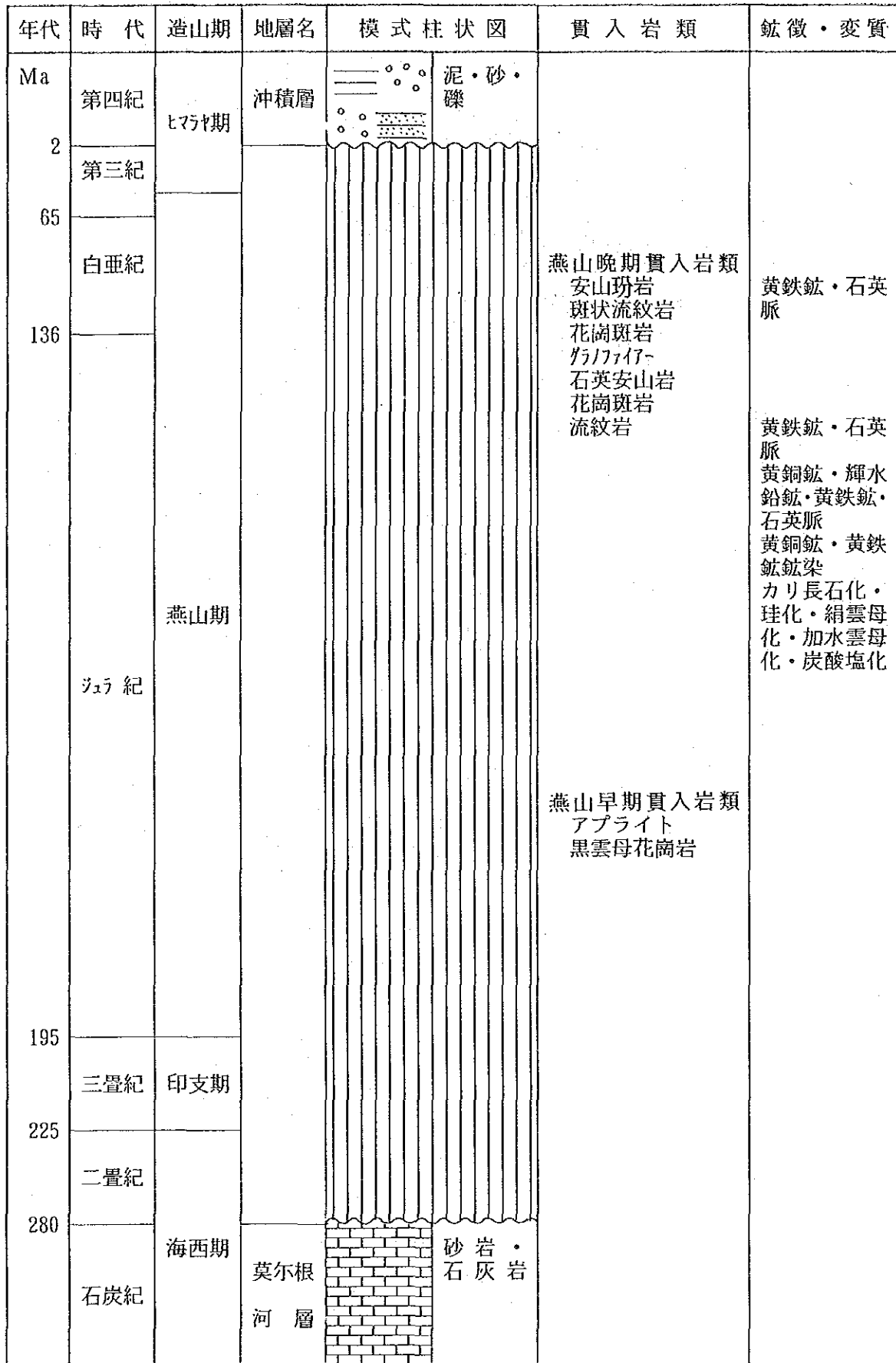


図1-3 烏奴格吐山区域地質模式層序図

凡例

第四系



現世河床堆積物

石炭系



砂岩・石灰岩

燕山晚期貫入岩類



安山玢岩



斑状流紋岩



花岗岩



グラノファイア



石英安山岩



花岗岩



流紋岩



燕山早期貫入岩類



黑雲母花岗岩



破碎帶



実在層



推定層



鉆床

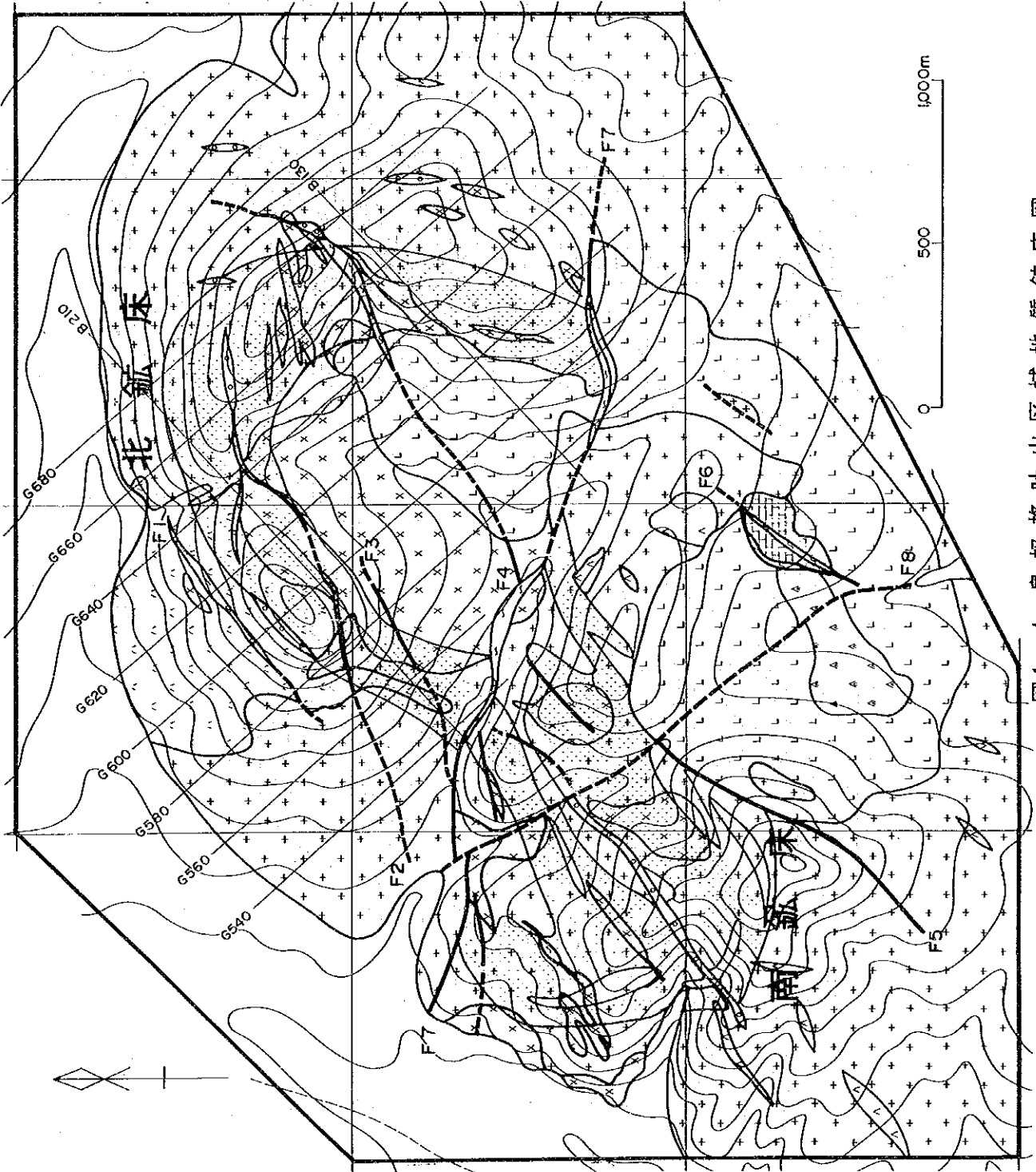
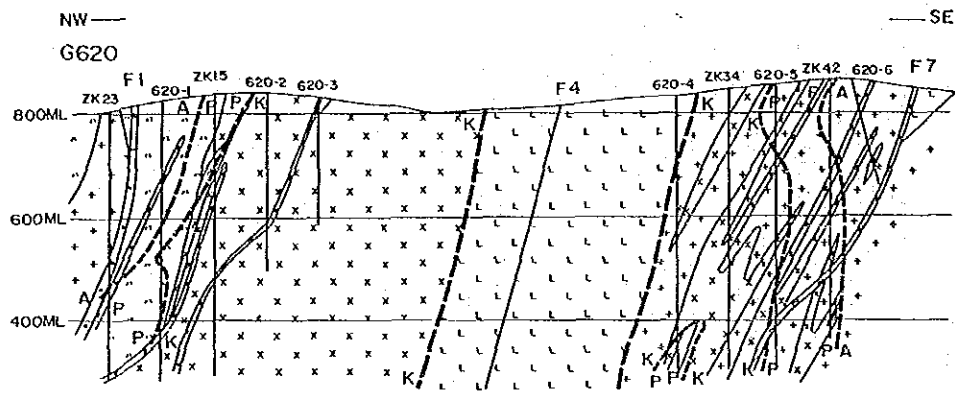
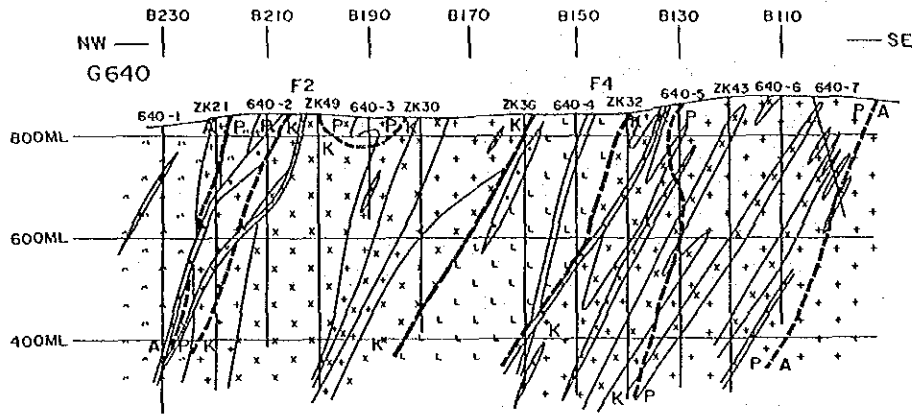


图1-4 烏奴格吐山区域地質鉆床圖





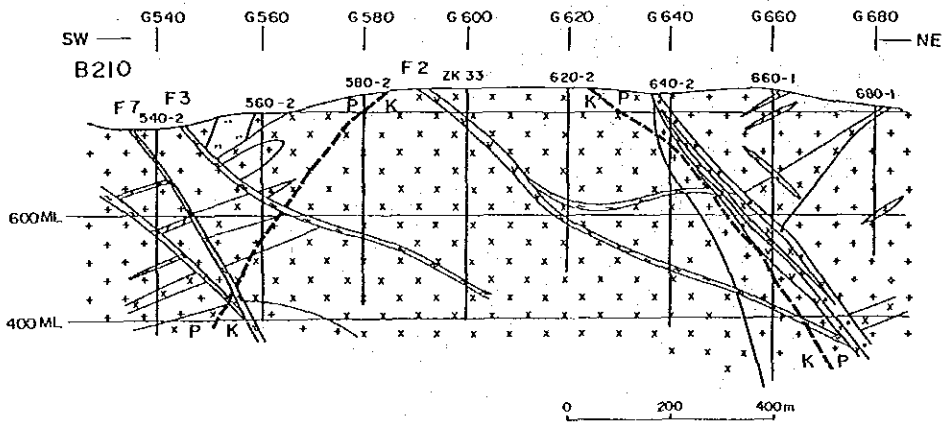
凡例

燕山晚期貫入岩類

- 1. [Symbol: 'x' marks]
- 2. [Symbol: 'x' marks with dots]
- 3. [Symbol: 'L' characters]
- 4. [Symbol: 'x' marks]
- 5. [Symbol: 'x' marks]

燕山早期貫入岩類

- 6. [Symbol: 'x' marks]
- 7. [Symbol: 'x' marks]
- 8. [Symbol: 'x' marks]
- 9. [Symbol: 'K' in a box]
- 10. [Symbol: 'P' in a box]
- 11. [Symbol: 'A' in a box]



- 1. 安山岩
- 2. 斑状流纹岩
- 3. 石英安山岩
- 4. 花岗斑岩
- 5. 流纹岩
- 6. 黑雲母花崗岩
- 7. 破碎帶
- 8. 變質境界
- 9. カリ変質帯
- 10. フィリック帯
- 11. 粘土化変質帯

图1-5 烏奴格吐山区域地質断面図

相当し、黄花菜溝区域の北東部に分布する莫尔根河層に対比されると考えられる。本層はその分布から黒雲母花崗岩貫入時の捕獲岩と推定される。

## (2) 第四系

現世の河川堆積物で、礫、砂、シルトなどからなる。厚いところでは10m以上に達する。

### 1.2.3 貫入岩類

本区域に分布する貫入岩類はその貫入時期により、燕山早期の貫入岩類と燕山晩期の貫入岩類に大別される。

#### (1) 燕山早期貫入岩類

燕山早期の貫入岩類は黒雲母花崗岩及びアプライトからなる。

各岩石の特徴は次のとおりである。

##### (a) 黒雲母花崗岩

本区域に広く分布し、烏奴格吐山鉍床の主要な鉍床母岩となっている。本区域周辺に露出する黒雲母花崗岩は烏奴格吐山岩体と呼ばれ、広域的にはNE-SW方向に分布している。

本岩は灰白色～淡桃色を呈し、完晶質で中粒～粗粒の等粒状組織を示す。構成鉍物は石英・カリ長石、斜長石を主とし、少量の黒雲母そして微量の燐灰石、ジルコン、金紅石、磁鉄鉍などからなる。鉍床近傍では鉍化変質を受け、黒雲母や斜長石は絹雲母化、モンモリロナイト化、加水雲母化、白雲母化しており、特に黒雲母は絹雲母化、白雲母化が著しく、ほとんど認められない。

##### (b) アプライト

数10cm～数m程度の脈状をなし、黒雲母花崗岩中に貫入している。灰白色～淡桃色を呈する細粒堅硬な岩石で、等粒状組織を示す。石英、斜長石を主とするが、鉍化変質を受け斜長石は絹雲母に変質している。

#### (2) 燕山晩期貫入岩類

燕山晩期の貫入岩類は流紋岩、花崗斑岩、石英安山岩、グラノファイア、斑状流紋岩、安山斑岩などからなる。

各岩石の特徴は次のとおりである。

##### (a) 流紋岩

本区域の北部、主として測線G540～G640の北西部に分布する。灰色～灰褐色の岩石で貫入岩と考えられるが、一部は火山碎屑岩相を呈する。鏡下では斑状組織を示す。斑晶は石英、カリ長石、斜長石を主とし、黒雲母、金紅石、ジルコンなどを伴う。本岩は烏奴格吐山鉍床の鉍床母岩の1つであり、鉍化変質を受け、斜長石、黒雲母は絹雲母化、加水雲母化、カリ長石化、白雲母化している。

##### (b) 花崗斑岩

本区域の中央部では岩株状を呈し、南鉍床周辺では小岩体として点在している。区域中央部の

岩株は末端部が他の岩石、主として黒雲母花崗岩中に岩枝状に貫入している。岩枝状の岩脈は北鉱床の東部で発達する。本岩は烏奴格吐山鉱床の関連火成岩であり、他の岩石との接触部付近に硫化物を沈殿させ、斑岩型銅・モリブデン鉱床を形成させている。

淡灰色～淡黄褐色を呈し、斑状構造を示す。鏡下では斑状組織を示し、斑晶は石英、斜長石を主とし、少量の黒雲母そして微量の金紅石からなる。斑晶の石英は高温型の $\beta$ -石英を示す。基質は石英、斜長石及び少量のカリ長石からなる。鉱化変質のため、斜長石は絹雲母化、加水雲母化、カリ長石化していることが多い。

#### (c) 石英安山岩

本区域の中央部から南部にかけて分布し、岩株状を呈する。本岩体はF7断層により北岩体と南岩体に分断される。北岩体は馬蹄形を呈する烏奴格吐山鉱床北鉱床の中心付近に貫入している。本岩は貫入に際して黒雲母花崗岩や花崗斑岩などの下位の岩石を異質礫として取り込み、一部には銅・モリブデンの鉱化した礫も認められる。

淡緑色～緑灰色を呈し、斑状構造を示す。斑晶は石英、斜長石、正長石を主とし、微量の金紅石を含む。本岩は弱いながら絹雲母化、加水雲母化、炭酸塩化している。径1～3mmの六面体を呈する黄鉄鉱を伴うことが多い。

#### (d) 斑状流紋岩

幅数m程度の岩脈をなし、断層に沿って貫入することが多い。淡灰白色を呈し、緻密な岩石である。鏡下では斑状組織を示し、斑晶は少量の斜長石、黒雲母からなる。

#### (e) 安山玢岩

斑状流紋岩と同様に幅数m程度の岩脈をなし、断層に沿って貫入することが多い。暗紫灰色を呈する。

鏡下では斑状組織を示し、斑晶は斜長石、角閃石、石英からなる。弱いながら黄鉄鉱や黄銅鉱の鉱染を伴う場合がある。

### 1.2.4 地質構造

本区域を含む一帯はソ連との国境付近に発達する額尔古納褶曲帯に属し、すぐ東側を呼倫湖を通り、NE-SW系の額尔古納-呼倫湖断裂帯（古生代から現在まで活動中で、中生代に最も活発に活動した）が通っている（図3）。

本区域は同断裂帯の活動に支配され、NE-SW系の構造が発達している。NE-SW系の構造は烏奴格吐山鉱床の関係火成岩である花崗斑岩や、石英安山岩などの燕山晩期の貫入岩類の配列、そして断裂系に明瞭に認められる。また、黒雲母花崗岩も広域的にはNE-SW方向に分布している。一方、主構造のNE-SW系に斜交するNW-SE系やWNW-ESE系の構造も認められる。これらの構造は主として鉱床形成後の断層として認められ、その代表であるF7断層はWNW-ESEの走向を示し、烏奴格吐山鉱床を大きく北鉱床と南鉱床に分断している。

本区域に分布する貫入岩類及び断層はいずれも北ないし、北西方向に傾斜している。

(1) NE-SW系の断層

NE-SW系の断層にはF1断層、F2断層、F3断層、F4断層、F5断層、そしてF6断層が分類される。主要な断層を以下に記す。

(a) F1断層

区域北部に存在する。走向延長は約600mで、主として、流紋岩中に発達する。断層に沿って幅数mの破碎帯が存在し、斑状流紋岩及び安山玢岩が貫入する。

(b) F2断層

区域北部に存在し、走向延長は1,800mに達する。断層角礫を伴い、断層に沿って斑状流紋岩及び安山玢岩が貫入する。下部では馬の尾状に数条の断層に分かれる。

(c) F3断層

区域北部に存在し、走向延長は約900m、破碎帯を伴う。

(d) F4断層

区域中央部に存在し、走向延長は約1,600m。断層に沿って幅数m~10数mの破碎帯が存在し、斑状流紋岩が貫入する。F7断層により切られている。

(2) WNW-ESE系及びNW-SE系の断層

WNE-ESE系の断層としてはF7断層が、またNW-SE系の断層としてはF8断層が分類される。

(a) F7断層

区域中央部をWNW-ESE方向に通っている。走向延長は2,800m以上。本区域内の代表的な断層で、烏奴格吐山鉾床を北鉾床と南鉾床に分断している。断層に沿って幅数m~10数m、場合によっては40mに達する破碎帯が存在し、斑状流紋岩が貫入している。

(b) F8断層

区域西部に存在し、走向延長は1,600m以上。南鉾床を2つに分断するとともに、F7断層も切断している。F8断層は本区域内で最も新しい断層と考えられ、地表部は谷を形成している。

### 1.3 鉱床

烏奴格吐山鉱床は南北 2,000m, 東西 2,500mの範囲に分布する斑岩型銅・モリブデン鉱床で、中央部を通るWNW-ESE走向のF7断層により北鉱床と南鉱床に分断されている。地質・鉱床図を図1-4及び付図1に示す。

本年度、調査に重点をおいた北鉱床は南北 1,300m, 東西 1,700mの範囲に分布し、南に開いた馬蹄形を呈している。

北鉱床は花崗斑岩の岩株及びその周囲に分布する黒雲母花崗岩、流紋岩を母岩とし、主として黒雲母花崗岩中に胚胎している。

本鉱床は地表から下部にかけて溶脱帯、酸化帯、二次硫化物富化帯、初生鉱化帯と移化している。

#### 1.3.1 初生鉱化作用

初生鉱化帯は黒雲母花崗岩、流紋岩、花崗斑岩を母岩とし、主として黒雲母花崗岩中に胚胎している。鉱化に関係した火成岩とみられる花崗斑岩は岩株状を呈するが、岩体の末端では幅数m~10数mの岩枝状岩脈となり、黒雲母花崗岩中に貫入している。この花崗斑岩の貫入に付随して変質作用を伴う熱水活動が生じ、岩石の境界部付近、特に黒雲母花崗岩中に硫化物の沈澱を引き起こしたと推定される。

##### (1) 初生鉱化帯

初生鉱化帯は銅及びモリブデン品位により高品位銅鉱体、低品位銅鉱体、高品位モリブデン鉱体、低品位モリブデン鉱体の4種類に分類される。<sup>\*1</sup> 海拔 700m, 500m (以下それぞれ700ML, 500MLと表現する)の地質・鉱床平面図を図1-6及び図1-7に、また鉱床断面図を図1-8に示す。

各鉱体の分布をみると花崗斑岩の岩株を中心に内側から外側へ、低品位モリブデン鉱体、高品位モリブデン鉱体、高品位銅鉱体そして低品位銅鉱体と累帯分布している。

##### (a) 銅 鉱 体

銅鉱体は烏奴格吐山鉱床の外半部を構成し、変質累帯でみると主として後述するフィリック帯に胚胎している。銅鉱体の分布をみると低品位銅鉱体の占める割合が高く、高品位銅鉱体は北鉱床ではわずかに鉱床の東部にまとまって分布するにすぎない。銅の鉱化作用は深部ほど弱

---

\*1 各鉱体の区分は下記のとおりである。

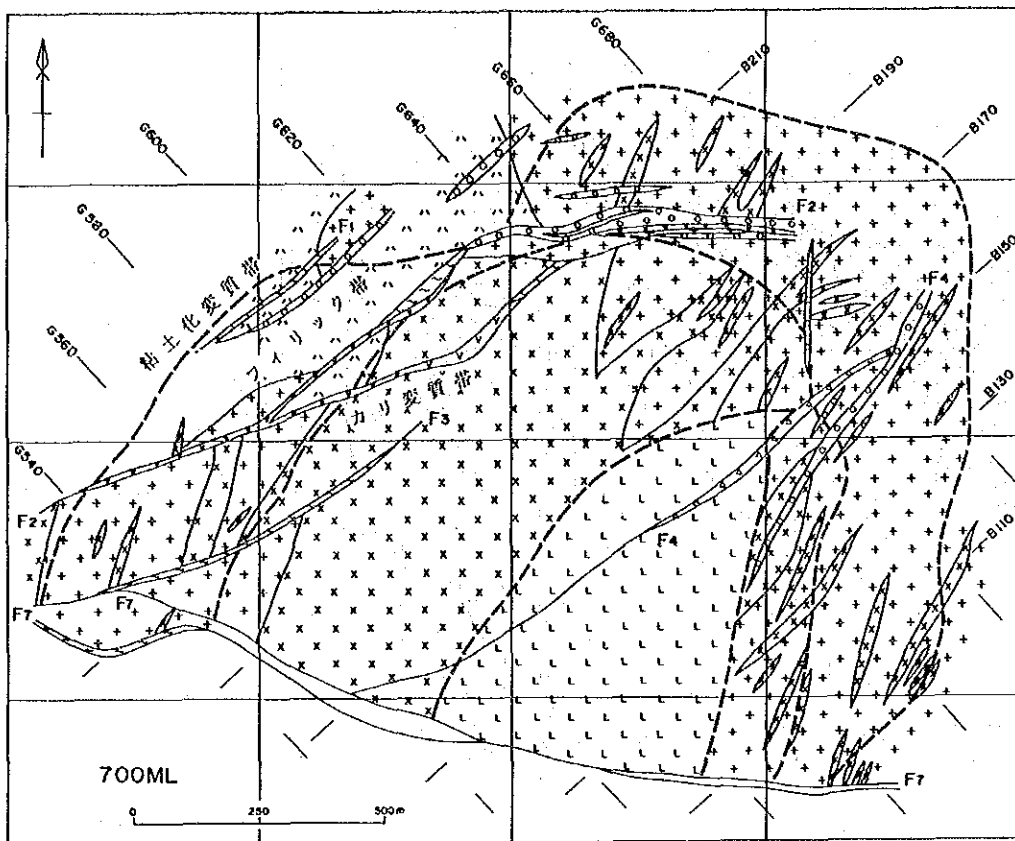
高品位銅鉱体：Cu品位 0.4%以上

低品位銅鉱体：Cu品位 0.2%以上 0.4%未満

高品位モリブデン鉱体：Mo品位 0.05%以上

低品位モリブデン鉱体：Mo品位 0.02%以上0.05%未満

鉱体を区分するときはCu品位がMo品位に優先する。



(A) 地質図

凡例

燕山晚期貫入岩類

- 安山閃岩
- 斑状流紋岩
- 石英安山岩
- 花崗閃岩
- 流紋岩

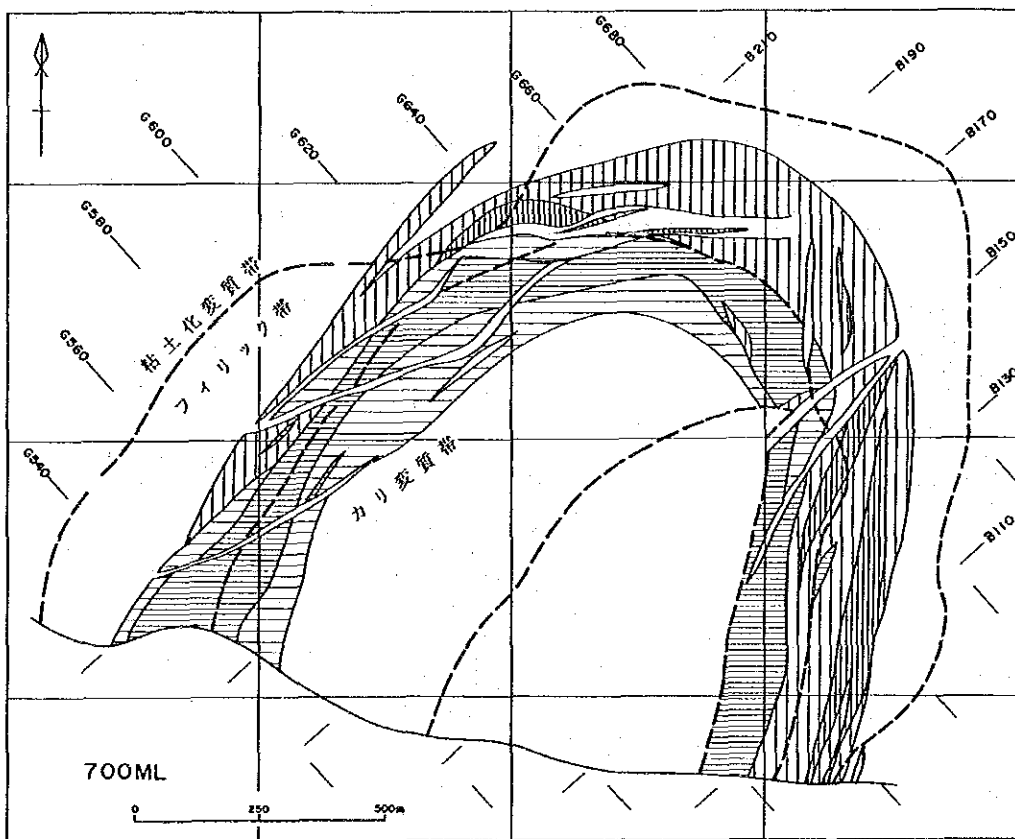
燕山早期貫入岩類

- 黒雲母花崗岩

- 角礫岩
- 破砕帯
- 断層
- 変質境界

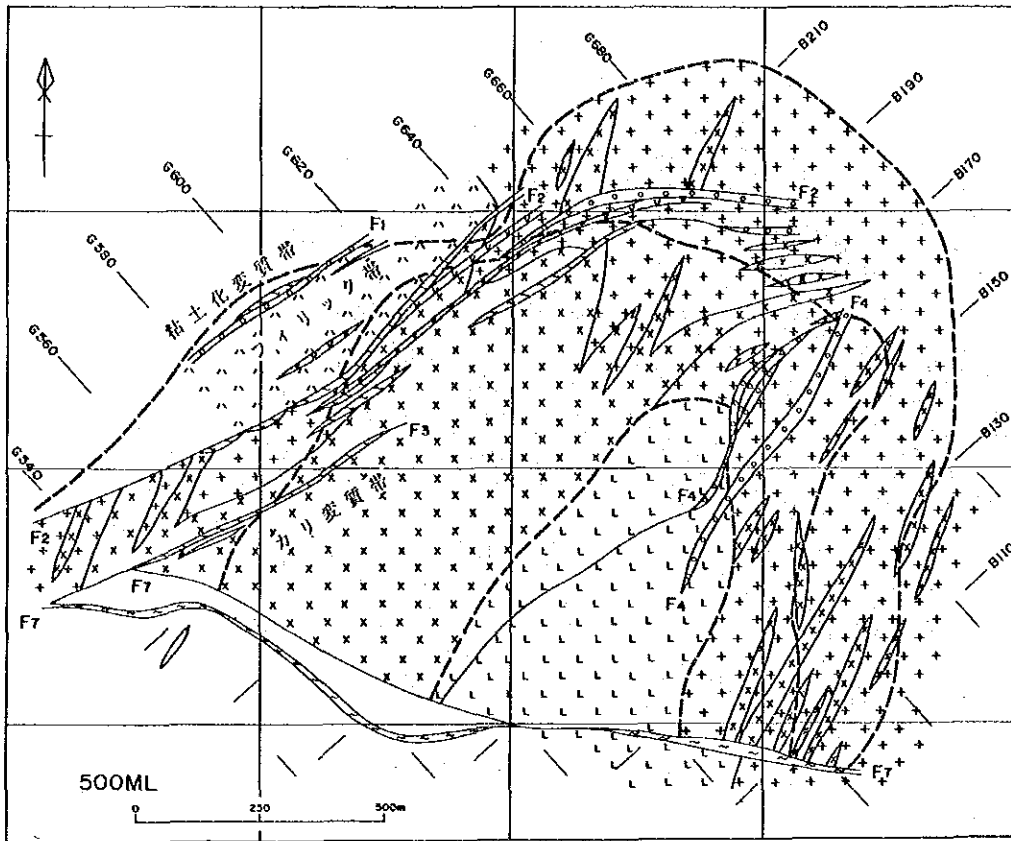
凡例

- 高品位銅鉱体 (Cu ≥ 0.4%)
- 低品位銅鉱体 (0.2% ≤ Cu < 0.4%)
- 高品位モリブデン鉱体 (Mo ≥ 0.05%)
- 低品位モリブデン鉱体 (0.02% ≤ Mo < 0.05%)



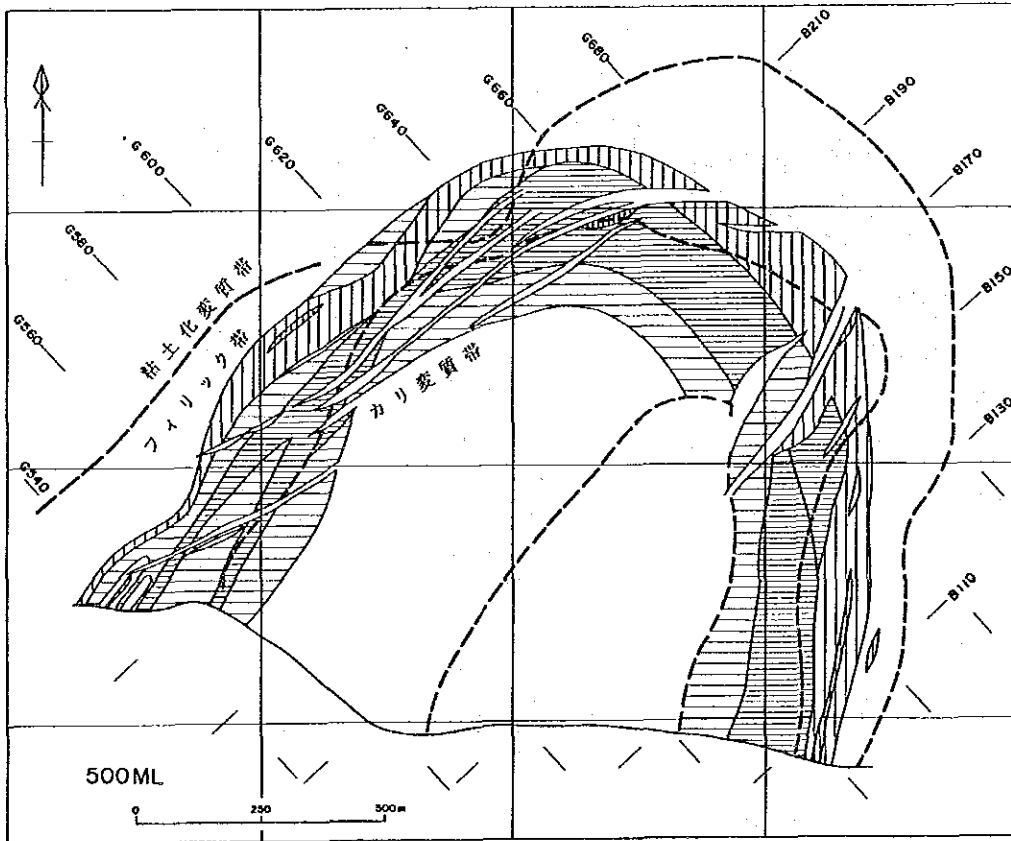
(B) 鉱床図

図1-6 烏奴格吐山北鉱床地質・鉱床平面図(700ML)



(A) 地質図

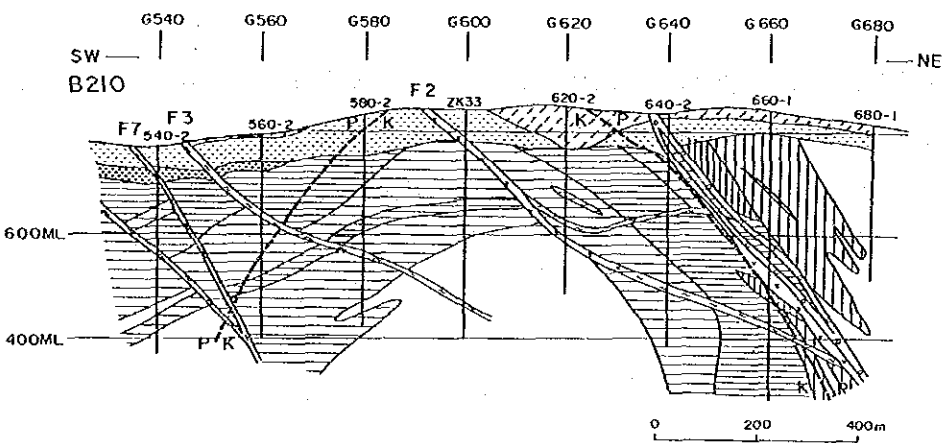
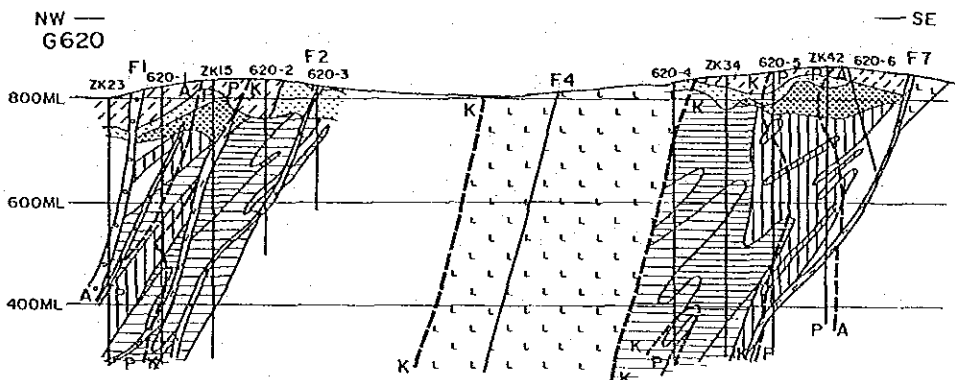
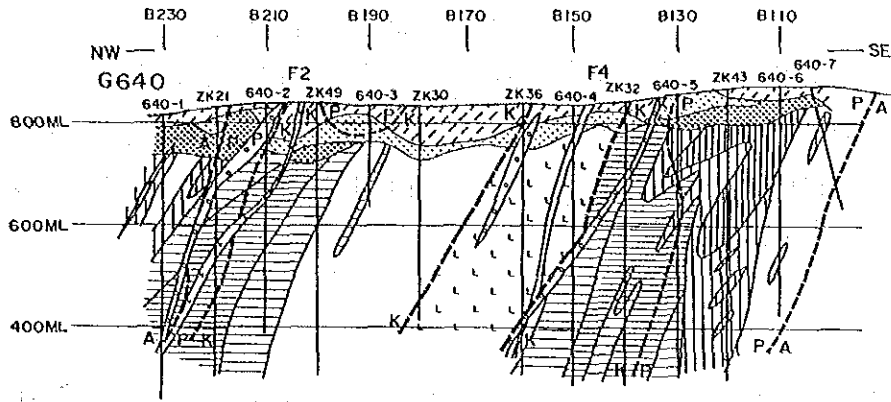
- 凡例
- 燕山晚期貫入岩類
    - ▽▽▽ 安山瑯岩
    - 〇〇〇 斑状流紋岩
    - LLL 石英安山岩
    - XXX 花崗斑岩
    - /// 流紋岩
  - 燕山早期貫入岩類
    - +++ 黒雲母花崗岩
  - 角礫岩
  - 破砕帯
  - 断層
  - 変質境界



(B) 鉬床図

- 凡例
- 高品位銅鉬体 (Cu ≥ 0.4%)
  - 低品位銅鉬体 (0.2% ≤ Cu < 0.4%)
  - 高品位モリブデン鉬体 (Mo ≥ 0.05%)
  - 低品位モリブデン鉬体 (0.02% ≤ Mo < 0.05%)

図1-7 烏奴格吐山北鉬床地質・鉬床平面図(500ML)



凡 例

- 1. [Vertical lines]
- 2. [Vertical lines]
- 3. [Horizontal lines]
- 4. [Horizontal lines]
- 5. [Dotted pattern]
- 6. [Dotted pattern]
- 7. [Diagonal lines]
- 8. [Wavy lines]
- 9. [Box with 'K']
- 10. [Box with 'P']
- 11. [Box with 'A']
- 12. [Vertical lines]
- 13. [Dotted pattern]
- 14. [Vertical lines]
- 15. [Diagonal lines]

1. 高品位銅鉱体(Cu $\geq$ 0.4%) 2. 低品位銅鉱体(0.2% $\leq$ Cu<0.4%) 3. 高品位モリブデン鉱体(Mo $\geq$ 0.05%) 4. 低品位モリブデン鉱体(0.02% $\leq$ Mo<0.05%) 5. 二次硫化物富化帯 6. 酸化帯 7. 溶脱帯 8. 変質帯の境界 9. カリ変質帯 10. フィリック帯 11. 粘土化変質帯 12. 石英安山岩 13. 斑状流紋岩 14. 安山斑岩 15. 破砕帯

注) 12~14は鉱床形成後の貫入岩

図1-8 北 鉱 床 断 面 図



勢となっており、500ML以深では高品位銅鉍体はごく小規模にしか発達していない。

(b) モリブデン鉍体

モリブデン鉍体は烏奴格吐山鉍床の内半部を構成し、主として後述するカリ変質帯に胚胎している。モリブデンの鉍化作用は銅の場合とは異なり、上下による品位の変動小さく、地表下600 m(200ML)以深まで連続している。

(2) 鉍石鉍物とその産状

初生鉍石鉍物は黄銅鉍、輝水鉛鉍、黄鉄鉍を主とし、少量の閃亜鉛鉍及び微量の方鉛鉍、キューバ鉍、四面銅鉍など伴う。産状的には主として鉍染状ならびに細脈状の場合が認められ、前者は径1mm前後の細粒状を呈するもので、黄銅鉍及び黄鉄鉍からなるが、黄鉄鉍が卓越している。後者は主に輝水鉛鉍・石英脈からなり、少量の黄銅鉍、黄鉄鉍を伴う。この細脈は脈幅が5mm以下のものが多く、脈際に沿って鱗片状の輝水鉛鉍が晶出している。産状としては上記以外にも岩石の割れ目に沿って黄銅鉍、黄鉄鉍(輝水鉛鉍)が晶出したり、黄鉄鉍、黄銅鉍からなる幅1~3mm程度の細脈が認められることがある。以上の銅・モリブデン鉍化部を切って閃亜鉛鉍・方鉛鉍・黄鉄鉍・石英脈が認められるが、その分布は局所的であり、かつ量も少ない。

産状を巨視的にみると累帯分布を示している。鉍床の内側では輝水鉛鉍・石英の細脈~網状脈が発達しているが、これは外側に向かうにつれて減少し、鉍染状の黄銅鉍、黄鉄鉍が増加する。閃亜鉛鉍も鉍床の外側に多く分布し、黄銅鉍・閃亜鉛鉍・方鉛鉍・黄鉄鉍脈を形成している。鉍床の外側から外部にかけては黄銅鉍、輝水鉛鉍ともに減少し、粗粒の黄鉄鉍脈や幅数10cm~数mに達する不毛石英脈が目だつようになる。

次に各鉍物について記載する。

(a) 黄銅鉍

輝水鉛鉍、黄鉄鉍とともに本鉍床の主要鉍物の1つである。鉍床全体に分布するが、比較的外半部に多く、黄銅鉍に富むところは銅鉍体を形成している。通常、黄鉄鉍とともに径1mm前後の細粒をなし、岩石中に鉍染している。また少量ながら輝水鉛鉍・石英脈に伴ったり、閃亜鉛鉍や黄鉄鉍と細脈を形成する場合がある。鉍染状に分布する黄銅鉍はその産状から鉍化作用の前期に形成したと考えられる。

(b) キューバ鉍

黄銅鉍・黄鉄鉍脈に伴って微量産する。鏡下では黄銅鉍と共生する。

(c) 四面銅鉍

黄銅鉍・黄鉄鉍脈に伴って産する。

(d) 閃亜鉛鉍

含閃亜鉛鉍細脈は銅・モリブデン鉍化部を切っているため、閃亜鉛鉍は主として鉍化作用の後期に生成したものと考えられる。鉍床の外側に黄銅鉍・方鉛鉍・黄鉄鉍とともに細脈状を呈

して産することが多い。

また、微量ながら岩石中に鉍染状に存在することもある。

鏡下では黄銅鉍と共生し、内部に離溶した黄銅鉍を認めることもある。

#### (e) 方鉛鉍

閃亜鉛鉍に密接に伴い、後期の黄銅鉍・閃亜鉛鉍・黄鉄鉍脈中に少量産する。

#### (f) 輝水鉛鉍

本鉍床の主要構成鉍物の1つである。鉍床の内側に多く分布し、輝水鉛鉍に富むところはモリブデン鉍体を形成している。通常脈幅5mm以下の細脈～網状脈を呈する石英脈中に存在し、脈幅の広い石英脈中にはほとんど産しない。輝水鉛鉍は石英脈の脈際に沿って晶出し、少量の黄銅鉍、黄鉄鉍を伴う。また、まれに単独で細脈を形成したり、岩石中に鉍染状に存在することもある。

輝水鉛鉍を伴う石英脈は黄銅鉍・黄鉄鉍の鉍染部を明らかに切っており、輝水鉛鉍の晶出時期は黄銅鉍、黄鉄鉍の晶出時期より遅いことを示している。

#### (g) 黄鉄鉍

本鉍床の主要構成鉍物の1つである。鉍化作用の全期間を通して生成している。黄銅鉍に伴うことが多く、岩石中に鉍染したり、岩石の割れ目に沿って晶出している。また、輝水鉛鉍に伴って石英脈中に産する。鉍床の外側～外部にかけては粗粒となり、脈状を呈する。地表付近では、黄鉄鉍は風化のため酸化溶脱したり、褐鉄鉍になっていることが多い。

### (3) 流体包有物

烏奴格吐山鉍床における鉍化作用の特性を調べるため、流体包有物による均質化温度、塩濃度の測定を行った。試料の採取にあたっては本鉍床は代表する断面として測線G640を選定し<sup>\*1</sup>、本年度に掘削した7本の長孔ボーリングから800MLを基準に100m間隔で30試料を採取した。測定した鉍物はすべて石英である。測定結果を表1-1に示す。

観察の結果、流体包有物としては液体包有物、気相包有物そして多相包有物が認められ、娘鉍物としては岩塩、赤鉄鉍が認められた。同一結晶中に多相包有物と気相包有物とが近接して存在することもあり、このことは沸とうが生じていたことを示していると考えられる。

#### (a) 均質化温度

測線沿いの温度分布を図1-9(A)に、また鉍体別・変質帯別の均質化温度を図1-10に示す。

測線沿いの温度分布をみると、花崗斑岩の岩株を中心として両側へ順次温度の低下する傾向

---

\*1 測線G640に沿っては、花崗斑岩の岩株を挟んで両側に鉍体が賦存している。さらにその中央部に石英安山岩の岩体が貫入している(図1-5)。

表1-1 流体包有物測定結果一覧表

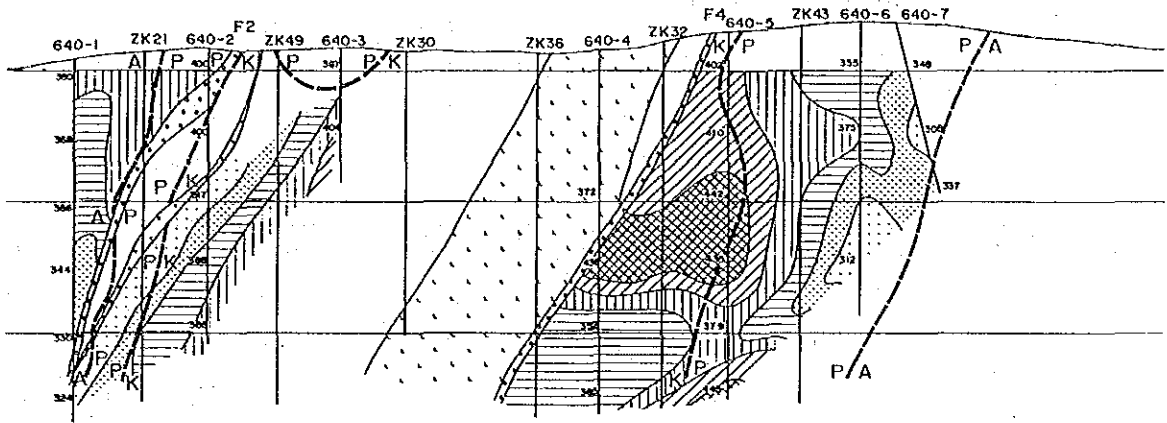
番号	ホリツ名	採取深度 (m)	レベル (M.L.)	変質帯 *1	試料	測定物	塩濃度 (wt%)	均質化温度 (°C)	包有物	娘鉱物
1	640-1	26.10	800	A	流紋岩中の石英脈	石英	13.2	380	液体, 気相	
2	"	107.00	700	A	"	"	10.4	368	"	
3	"	210.00	600	A	"	"	10.2	366	"	
4	"	309.80	500	A	"	"	10.7	344	"	
5	"	409.70	400	A	"	"	6.8	330	"	
6	"	509.60	300	A	"	"	9.1	324	"	
7	640-2	51.20	800	P	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	13.7	400	"	
8	"	135.70	700	K	珪化した黒雲母花崗岩	"	10.8	400	"	
9	"	233.00	600	K	花崗斑岩中の石英脈	"	9.4	317	"	
10	"	333.00	500	K	"	"	12.5	366	"	
11	"	434.00	400	K	"	"	13.6	388	"	
12	640-3	30.50	800	P	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	9.9	367	"	
13	"	128.00	700	K	"	"	7.3	404	気相, 多相	赤鉄鉱
14	640-4	230.10	600	—	珪化した石英安山岩	"	11.8	372	液体, 気相	
15	"	334.50	500	K	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	18.1	436	気相, 多相	
16	"	432.20	400	K	"	"	11.2	352	液体, 気相	
17	"	533.10	300	K	珪化した黒雲母花崗岩	"	12.4	365	"	岩塩
18	640-5	45.00	800	P	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	9.7	402	"	
19	"	137.00	700	K	珪化した花崗斑岩	"	10.4	410	"	
20	"	243.50	600	K	"	"	10.2	442	"	岩塩
21	"	346.40	500	P	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	9.8	435	"	
22	"	446.50	400	P	花崗斑岩中の石英脈	"	9.5	379	"	赤鉄鉱
23	"	545.50	300	P	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	11.1	445	"	
24	640-6	71.00	800	P	珪化した黒雲母花崗岩	"	9.4	355	"	岩塩
25	"	169.30	700	P	黒雲母花崗岩中の石英脈	"	9.8	375	"	
26	"	269.50	600	P	"	"	12.7	324	"	
27	"	387.80	500	P	"	"	12.8	312	"	
28	640-7	68.90	800	P	珪化した黒雲母花崗岩	"	15.5	348	"	
29	"	171.00	700	P	花崗斑岩中の石英脈	"	12.7	308	"	
30	"	249.20	600	A	珪化した黒雲母花崗岩	"	8.5	337	"	

\*1 変質帯 K:カリ変質帯 P:フィリック帯 A:粘土化変質帯

(A) 均質化温度

-NW-  
G 640

-SE-

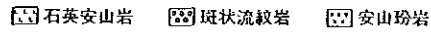


凡例

均質化温度(℃)



鉱床形成後の貫入岩



変質帯

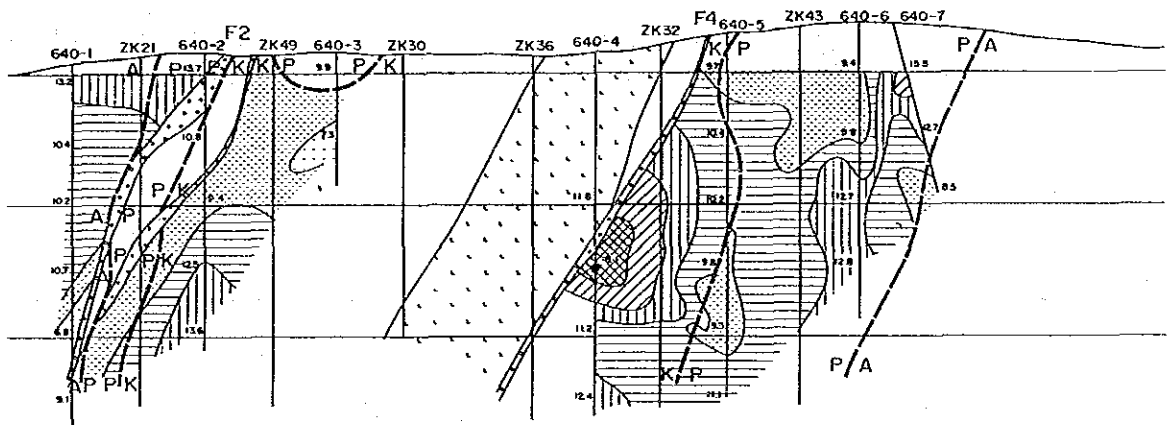
K: カリ変質帯 P: フィリック帯 A: 粘土化変質帯 --: 変質境界

数字は測定値

(B) 塩濃度

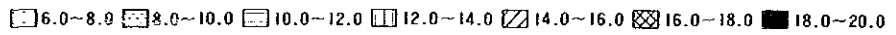
-NW-  
G 640

-SE-

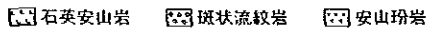


凡例

塩濃度(wt%)



鉱床形成後の貫入岩



変質帯

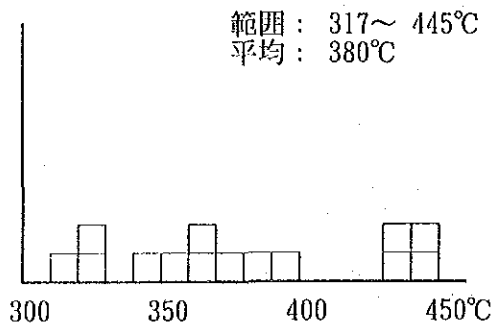
K: カリ変質帯 P: フィリック帯 A: 粘土化変質帯 --: 変質境界

数字は測定値

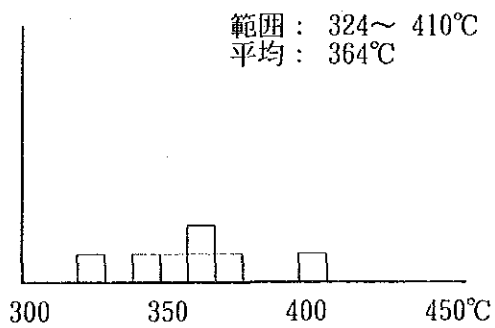
図1-9 均質化温度及び塩濃度の分布 (測線 G 640)

(A) 鉍体区分による均質化温度

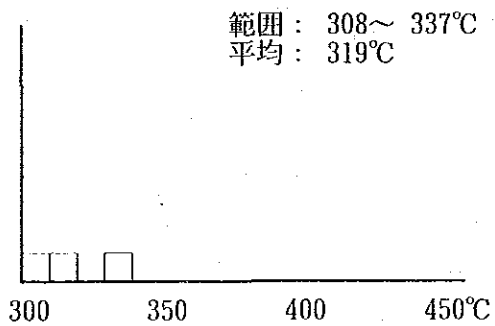
(1) モリブデン鉍体 (n=14)



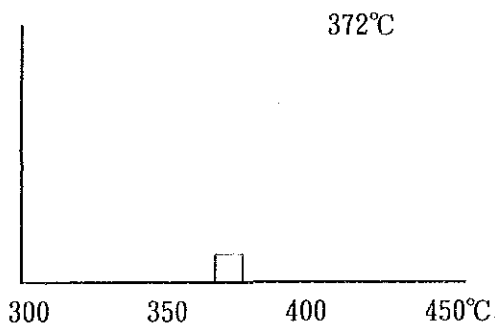
(2) 銅鉍体 (n=7)



(3) 鉍体外 (n=3)

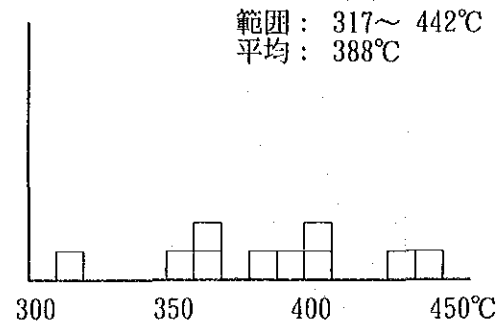


(4) 石英安山岩 (n=1)

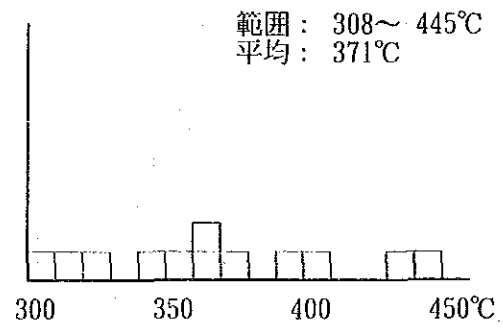


(B) 変質帯区分による均質化温度

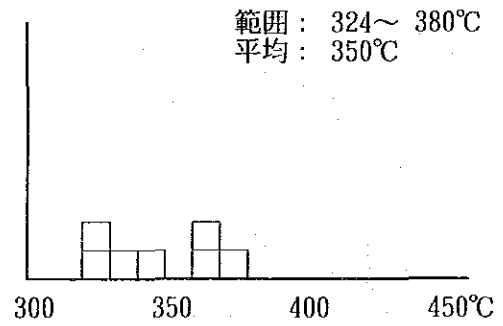
(1) カリ変質帯 (n=10)



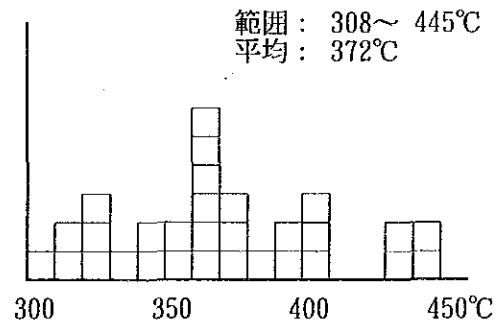
(2) フィリック帯 (n=12)



(3) 粘土化変質帯 (n=7)



(4) 全体 (n=29\*1)



\*1 均質化温度は全部で30試料について測定したが、そのうちの1試料は鉍床形成後に貫入した石英安山岩であったため除外した。

図1-10 流体包有物の均質化温度

が読みとれる。温度分布は各岩体の傾斜方向などの地質構造とほぼ一致しており、特に断面北西部のボーリングNo.640-1 からNo.640-3 にかけては顕著に現れている。

鉍体別の均質化温度をみると、モリブデン鉍体が 317～445℃で平均 380℃、銅鉍体が 324～410℃で平均 364℃、そして鉍体外では 308～337℃で平均 319℃となっており、均質化温度は鉍体の内側から外側へ順次低下している。同様に変質帯別にみた場合もカリ変質帯が 317～422℃で平均 388℃、フィリック帯が 308～445℃で平均 371℃、そして粘土化変質帯では 324～380℃で平均 350℃となっており、外側へ向けて均質化温度は順次低下している。鉍床形成後の貫入岩である石英安山岩の均質化温度は、1 試料ながら 372℃となっている。これは鉍床内半部のモリブデン鉍体のそれに比べると低い、鉍体外のものより高い値を示している。

烏奴格吐山鉍床形成時の圧力については、およそ 50～1,000bar の範囲で、主として 50～300bar と考えられている（叶ほか、1989）。いま、本鉍床形成時の圧力を 300bar と仮定すると、塩濃度、均質化温度の関係から生成温度は 330～450℃と推定される。

#### (b) 塩濃度

G640 線沿いの塩濃度分布を図 1-9(B) に、また鉍体別・変質帯別の塩濃度を図 1-11 に示す。なお、塩濃度は NaCl 相当濃度 (wt%) で表示してある。

烏奴格吐山鉍床の鉍化作用に伴う流体包有物中の塩濃度は比較的変動幅が小さく、大部分が 9～14wt% の範囲内に納まっている。

鉍体別の塩濃度をみるとモリブデン鉍体が 6.8～18.1wt% で平均 11.1wt%、銅鉍体が 9.4～15.5wt% で平均 11.2wt%、そして鉍体外では 8.5～12.8wt% で平均 11.3wt% とほぼ同じ値を示し、鉍体別の差異は認められない。同様に変質帯別にみても、カリ変質帯が 7.3～18.1wt% で平均 11.6wt%、フィリック帯が 9.4～15.5wt% で平均 11.4wt%、そして粘土化変質帯では 6.8～13.2wt% で平均 9.8wt% と粘土化変質帯でやや低い値を示す以外は差異は認められない。

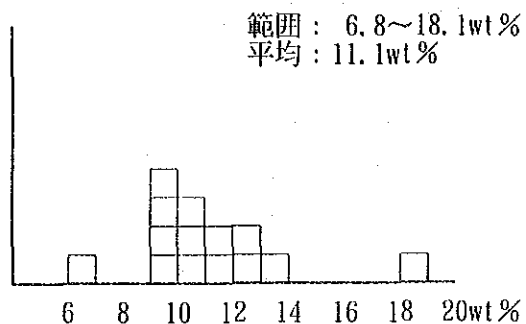
### 1.3.2 変質作用

烏奴格吐山鉍床周辺では熱水活動に伴い、珪化、絹雲母化、加水雲母化、カリ長石化、炭酸塩化、カオリン化などの鉍化変質が認められる（資料 1）。変質鉍物としては石英、カリ長石、絹雲母、加水雲母、モンモリロナイト、カオリン、方解石などが認められ、初生鉍物を交代したり、岩石を細脈状に切って存在する。

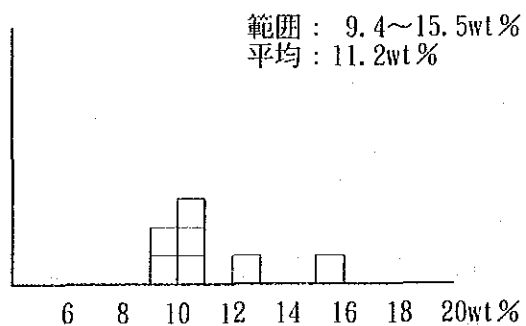
これらの変質鉍物のうち、石英、カリ長石、絹雲母、加水雲母は普遍的に認められる。各鉍物の産状をみると、カリ長石は変質帯累帯構造の中央部付近に多く認められ、斜長石を交代し、一部では細脈状を呈している。石英は珪化岩や石英脈として存在する。石英脈は鉍床の内側では細脈～網状脈として発達するが、外側に向かうにつれて徐々に減少する。珪化帯は鉍床の分布とほぼ一致し、風化に強いため本区域では丘陵を形成している。絹雲母や加水雲母は斜長石、黒雲母

(A) 鉍体区分による塩濃度

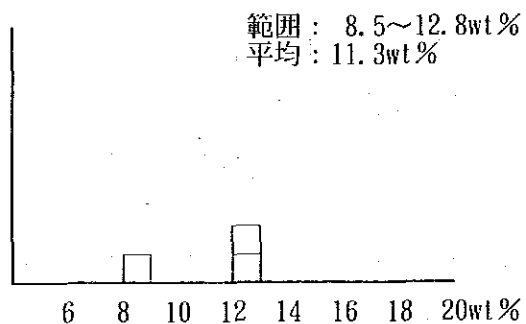
(1) モリブデン鉍体 (n=14)



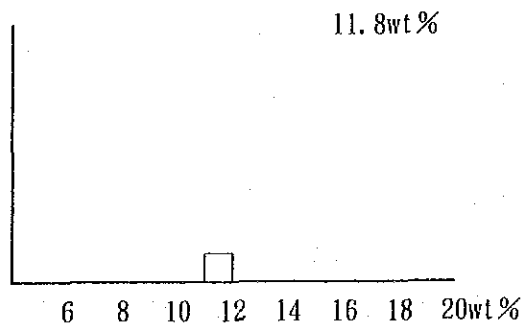
(2) 銅鉍体 (n=7)



(3) 鉍体外 (n=3)

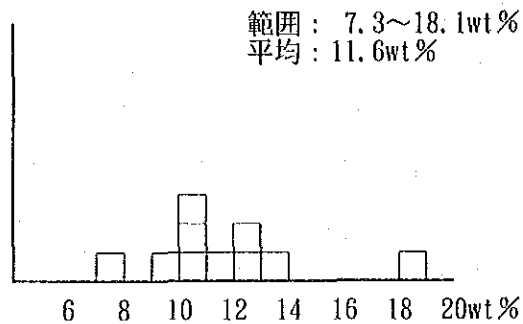


(4) 石英安山岩 (n=1)

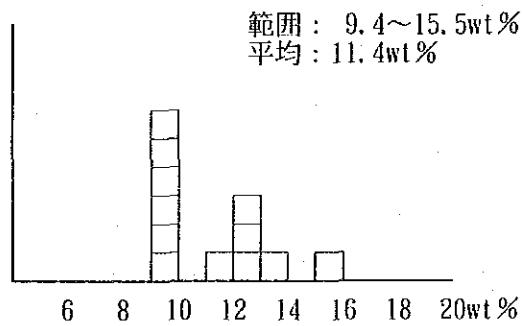


(B) 変質帯区分による塩濃度

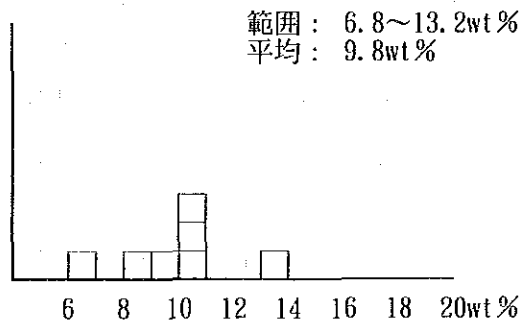
(1) カリ変質帯 (n=10)



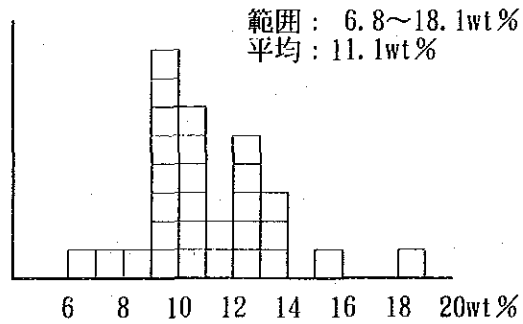
(2) フィリック帯 (n=12)



(3) 粘土化変質帯 (n=7)



(4) 全体 (n=29\*1)



\*1 塩濃度は全部で30試料について測定したが、そのうち1試料は鉍床形成後に貫入した石英安山岩であったため除外した。

図1-11 流体包有物の塩濃度

を交代し、岩石の割れ目や鉱物の粒間を埋めて存在する。石こうは鉱体の内側に分布し、岩石の割れ目に沿って存在している。炭酸塩鉱物は少量ながら方解石として細脈状あるいは岩石の空隙を埋めて存在し、鉱床をとりまいて分布する傾向が認められる。

烏奴格吐山鉱床の鉱化変質は変質鉱物の組み合わせにより、(1)カリ変質帯、(2)フィリック帯、(3)粘土化変質帯の3つの帯に区分することができる。これらは花崗斑岩岩株を中心として(1)~(3)の順で外側に向けてひろがっている。なお、斑岩型鉱床の場合、一般に粘土化変質帯の外縁には緑泥石、曹長石、方解石、沸石などからなるプロピライト帯が存在することが多いが、本調査ではその存在を確認していない。

#### (1) 変質帯

##### (a) カリ変質帯

定義：岩石薄片鑑定により、次生カリ長石が生成している場所

本帯は次生カリ長石の存在により特徴づけられ、累帯分布を呈する変質帯の最も内側に存在する。次生カリ長石は斜長石や初生カリ長石を交代して、その周囲を縁どったり、細脈として存在する。石英が普遍的に存在し、少量ながら石こうを伴う。

モリブデン鉱体は本帯中に賦存することが多い。

##### (b) フィリック帯

定義：岩石薄片鑑定により、珪化、絹雲母化の強い場所。また、X線回折により絹雲母の反射強度比が強い場所。

本帯は石英、絹雲母の組み合わせにより特徴づけられる。石英は珪化岩として存在するほか、細脈状に存在する。絹雲母は母岩中に含まれる斜長石、カリ長石、黒雲母を交代して生成し、本帯の内側で卓越している。

本帯はカリ変質帯をとりまく形で幅 300~400m程度の規模で存在しているが、測線 G620 ~ G640 の北東部では幅50m程度に狭まっている。銅鉱体は主として本帯中に賦存する。

##### (c) 粘土化変質帯

定義：岩石薄片鑑定により、加水雲母化\*1の強い場所、また、X線回折では絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物の強度比が強い場所や、モンモリロナイト、絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物そしてカオリンの三者が同時に出現している場所。

本帯は絹雲母、加水雲母、モンモリロナイト及びカオリンの組み合わせにより特徴づけられる。なお、モンモリロナイト、カオリンを欠く場合もある。本帯は烏奴格吐山鉱床形成に関わる鉱化

---

\*1 加水雲母は単一鉱物であるかどうか疑わしく、カオリン鉱物と微細な雲母との混合体や絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物の可能性があると考えられている(地学事典, 1970)。したがって顕微鏡鑑定による加水雲母とX線回折による絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物は同一の可能性が高い。



変質帯の最外部に相当する位置を占めている。通常、本帯は鉱床の外周に沿って分布するが、測線G620～G640の北東部では本帯中にも鉱床が賦存している。

## (2) 室内実験

岩石の変質状態を調べるため、偏光顕微鏡観察のほかX線回折および全岩分析を実施した。

### (a) X線回折

本年度に掘削したG620～G680線の22本の長孔ボーリングから800MLを基準に100m間隔で100試料を採取し、X線回折に供した。X線回折により、変質鉱物の同定、絹雲母のポリタイプの決定及び絹雲母の結晶度解析を行った。回折条件を表1-2に、回折結果を表1-3に示す。

表1-2 X線回折条件

	不 定 方 位	水と定方位・EG処理
X線管球	Cu-モノクロメーター	Cu-モノクロメーター
電 圧	50KV	30KV
電 流	20mA	15mA
チャートスピード	2cm/分	2cm/分
回折スピード	2°/分	1°/分
回折角度(2θ)	2°～40°	2°～20°
フルスケール	1000C.P.S	1000C.P.S
時 定 数	1秒	1秒
スリット系	1°-0.3mm-1°	1°-0.3mm-1°

### (i) 鉱物同定

X線回折の結果、石英、斜長石、カリ長石、絹雲母、モンモリロナイト、絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物、カオリン、方解石及び黄鉄鉱が同定された。このうち絹雲母、モンモリロナイト、絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物及びカオリンは粘土鉱物である。

石英及び絹雲母は全試料から検出されているが、モンモリロナイト及び方解石は出現頻度が低い。なお、カリ長石は100試料中76試料で検出されており、出現頻度は高いが、初生カリ長石と次生カリ長石の区別はなされていない。

これらの変質鉱物の出現位置は全体的な変質帯の累帯配列と合致している。

### (ii) 絹雲母のポリタイプ

絹雲母のポリタイプ決定と結晶度解析は烏奴格吐山鉱床の試料についてのみ実施した。

雲母のポリタイプには1M、2O、2M<sub>1</sub>、2M<sub>2</sub>、3T、6Hの6種類あることが知られている。このうち、粘土鉱物として産する雲母には1M、1Md及び2M<sub>1</sub>のものが多い(地熱開発総合ハンドブック、1987)。絹雲母のポリタイプについては熱水合成実験や産状

表1-3 X線回折結果一覧表(その1)

番号	ボリグ名	採取深度 (m)	レベル (ML)	変質帯 #1	Q	P $\beta$	kf	M	S/M	S	Kao	Ca $\beta$	Py	絹雲母のボリタイプ	W(10Å) (nm)	W(5Å) (nm)	W(10Å)/W(5Å)
1	620-1	27.50	800	A	卅					卅	±			2M <sub>1</sub>	3.5	5.0	0.7
2	"	128.00	700	A	卅	卅	卅			±	+	±		1Md	4.5	3.5	1.3
3	"	228.00	600	A	卅		卅			±	卅	+		1Md	7.5	7.5	1.0
4	"	328.60	500	P	卅		±			卅	±	±	±	2M <sub>1</sub> +1M	3.5	4.0	0.9
5	"	428.50	400	K	卅	+	卅			±	+	±		2M <sub>1</sub>	7.0	8.0	0.9
6	"	528.50	300	K	卅		+			±	卅			2M <sub>1</sub>	18.0	8.0	2.3
7	620-2	40.30	800	K	卅		卅			±	+	±		1Md	6.5	5.5	1.2
8	"	141.40	700	K	卅		卅			±	±	±		1Md	7.0	8.0	0.9
9	"	242.00	600	K	卅		卅			±	±	±		1Md	4.0	3.0	1.3
10	"	342.30	500	K	卅		卅			±	±			1Md	5.0	8.0	0.6
11	620-3	30.70	800	K	卅		卅			±	±	±		1Md	5.0	7.5	0.7
12	"	130.10	700	K	卅		卅			±	±			1Md	-	8.5	-
13	"	230.50	600	K	卅		卅			±	±			1Md	9.0	7.0	1.3
14	620-4	141.60	700	K	卅		卅				±			1Md	6.5	5.5	1.2
15	"	242.50	600	K	卅		卅				±			1Md	5.0	4.5	1.1
16	"	341.50	500	K	卅		卅				±			1Md	6.0	5.0	1.2
17	"	440.00	400	K	卅		卅				±			1Md	7.0	5.0	1.4
18	"	540.00	300	P	卅		卅			±	+			1Md	6.0	5.5	1.1
19	620-5	59.80	800	P	卅		卅			±	+			2M <sub>1</sub>	4.0	3.0	1.3
20	"	170.00	700	P	卅		卅				+			2M <sub>1</sub>	8.0	5.0	1.6
21	"	260.20	600	P	卅		±				卅		±	2M <sub>1</sub>	4.0	4.0	1.0
22	"	357.00	500	P	卅		卅				+			2M <sub>1</sub>	6.0	4.0	1.5
23	"	456.00	400	P	卅		卅				+	±		2M <sub>1</sub>	10.0	8.0	1.3
24	620-6	59.70	800	A	卅		+			±	+	+	±	2M <sub>1</sub>	4.0	4.0	1.0
25	"	164.90	700	A	卅		±				卅		±	2M <sub>1</sub>	3.5	3.0	1.2
26	640-1	25.10	800	A	卅					±	卅	卅		2M <sub>1</sub>	8.0	5.0	1.6
27	"	107.20	700	A	卅					±	卅		±	2M <sub>1</sub>	3.5	3.0	1.2
28	"	210.40	600	A	卅			±	±	卅	±		±	2M <sub>1</sub>	5.5	7.0	0.8
29	"	310.00	500	A	卅		+			±	卅	±	±	2M <sub>1</sub> +1Md	3.5	4.5	0.8
30	"	410.00	400	A	卅		+			±	卅		±	2M <sub>1</sub> +1Md	-	8.0	-
31	"	510.00	300	A	卅		+			+	±	+	±	2M <sub>1</sub>	-	11.0	-
32	640-2	48.00	800	P	卅		±				卅			2M <sub>1</sub>	6.0	4.0	1.5
33	"	134.60	700	P	卅		卅			±	+			2M <sub>1</sub>	-	5.0	-
34	"	233.50	600	K	卅		卅			±	±	±		2M <sub>1</sub>	7.0	10.0	0.7
35	"	333.90	500	K	卅		卅			±	±			1Md	-	11.5	-

表1-3 X線回折結果一覧表(その2)

番号	ボーリング名	採取深度 (m)	レベル (ML)	変質帯 #1	Q	P $\beta$	kf	M	S/M	S	Kao	Ca $\beta$	Py	絹雲母のポリタイプ	W(10Å) (mm)	W(5Å) (mm)	W(10Å)/W(5Å)
36	640-2	434.10	400	K	卍	±	卍	±	±	±				1M $\delta$	19.5	9.0	2.2
37	640-3	30.60	800	P	卍		卍		±	+				2M $\delta$	11.0	6.0	1.8
38	"	128.00	700	K	卍		卍			±				1M $\delta$	17.0	8.5	2.0
39	"	177.20	650	K	卍		卍			±				1M $\delta$	16.0	8.5	1.9
40	640-4	38.60	800	DC	卍	卍				±		±	卍	1M $\delta$	11.0	7.5	1.5
41	"	132.00	700	DC	卍	卍				±				1M $\delta$	9.0	6.0	1.5
42	"	230.00	600	K	卍	卍	+			±				2M $\delta$	12.5	7.0	1.8
43	"	332.40	500	K	卍		卍			±	±			1M $\delta$	9.0	6.5	1.4
44	"	433.00	400	K	卍		卍			+	±			1M $\delta$	4.0	4.5	0.9
45	"	532.80	300	K	卍		+			卍	±			2M $\delta$	4.0	3.0	1.3
46	640-5	44.30	800	P	卍		卍			卍	±			2M $\delta$	3.0	3.0	1.0
47	"	137.00	700	P	卍		+			卍	±	±		2M $\delta$	3.5	3.0	1.2
48	"	243.50	600	K	卍		卍			+		±	±	2M $\delta$	3.5	3.0	1.2
49	"	346.40	500	P	卍		+			卍		±		2M $\delta$	3.0	3.0	1.0
50	"	446.00	400	P	卍	卍	+	+		±				2M $\delta$ + 1M	15.5	7.0	2.2
51	"	546.20	300	P	卍		卍	±		±	±			1M $\delta$	6.0	10.0	0.6
52	640-6	70.80	800	P	卍					卍			±	2M $\delta$	3.0	3.0	1.0
53	"	170.00	700	P	卍					卍			±	2M $\delta$	3.0	2.5	1.2
54	"	269.80	600	P	卍					卍	±		±	2M $\delta$	3.0	3.5	0.9
55	"	387.00	500	P	卍					卍			±	2M $\delta$	3.5	3.0	1.2
56	640-7	68.90	800	P	卍					卍			+	2M $\delta$	5.5	3.0	1.8
57	"	170.10	700	P	卍		±			卍			±	2M $\delta$	3.0	3.5	0.9
58	"	247.80	600	A	卍					+				2M $\delta$	5.5	4.5	1.2
59	660-1	35.40	800	P	卍					卍			±	2M $\delta$	3.0	3.0	1.0
60	"	134.20	700	P	卍					卍	±		+	2M $\delta$	3.0	3.0	1.0
61	"	234.20	600	P	卍	卍	+	±	±	+	±			1M $\delta$	3.0	7.0	0.4
62	"	335.00	500	P	卍		卍			+				1M $\delta$	4.0	8.0	0.5
63	"	435.00	400	P	卍		±			卍			±	2M $\delta$ + 1M	4.0	4.0	1.0
64	"	534.00	300	K	卍		卍	±	±	+				1M $\delta$	-	7.0	-
65	660-2	59.80	800	P	卍		+		±	卍	±			2M $\delta$ + 1M	3.5	5.0	0.7
66	"	162.08	700	K	卍		卍		±	+				1M $\delta$	4.0	4.5	0.9
67	"	260.00	600	K	卍		卍		±	+				1M $\delta$	3.5	3.0	1.2
68	"	361.00	500	K	卍		卍		±	±				1M $\delta$	4.0	7.0	0.6
69	"	461.00	400	K	卍		卍		±	±				1M $\delta$	5.0	5.5	0.9
70	660-3	72.00	800	K	卍		卍			+				1M $\delta$	3.0	4.0	0.8

表1-3 X線回折結果一覧表(その3)

番号	ネーミング	採取深度 (m)	レベル (ML)	変質帯 #1	Q	P/L	kl	M	S/M	S	Kao	Ca/L	Py	絹雲母の ポリタイプ	W(10Å) (nm)	W(5Å) (nm)	W(10Å)/ W(5Å)
71	660-3	172.50	700	K	#		#			+	±			1M <sub>1</sub>	2.5	5.0	0.5
72	"	272.50	600	K	#		#		±	±				1M <sub>1</sub>	-	5.0	-
73	"	372.50	500	K	#		#			±				1M <sub>1</sub>	10.0	4.0	2.5
74	"	472.50	400	K	#		#			±				1M <sub>1</sub>	15.0	3.0	5.0
75	660-4	59.60	800	K	#		#		±	±	±			1M <sub>1</sub>	7.0	7.5	0.9
76	"	160.00	700	P	#		#			#				2M <sub>1</sub>	3.5	4.0	0.9
77	"	271.90	600	P	#		#			#	±			2M <sub>1</sub>	5.0	5.0	1.0
78	"	359.00	500	K	#		#			#		±		2M <sub>1</sub>	4.0	3.0	1.3
79	"	460.20	400	K	#		#	±	±	±				1M <sub>1</sub>	22.0	12.0	1.8
80	660-5	74.00	800	P	#					#		±	±	2M <sub>1</sub>	4.0	3.0	1.3
81	"	174.70	700	P	#					#		±	±	2M <sub>1</sub>	3.5	3.5	1.0
82	"	275.00	600	P	#		#			+	±			2M <sub>1</sub>	6.5	6.0	1.1
83	680-1	18.10	800	P	#					#				2M <sub>1</sub>	3.5	4.0	0.9
84	"	108.70	700	P	#					#	±			2M <sub>1</sub>	3.0	3.0	1.0
85	"	213.50	600	P	#					#			±	2M <sub>1</sub>	3.0	3.5	0.9
86	"	300.00	500	P	#					#			±	2M <sub>1</sub>	3.5	3.0	1.2
87	680-2	40.50	800	P	#					#			±	2M <sub>1</sub>	3.5	3.0	1.2
88	"	141.00	700	P	#		±		±	#			±	2M <sub>1</sub>	3.0	3.0	1.0
89	"	240.60	600	P	#		+		±	#			±	2M <sub>1</sub>	3.0	3.0	1.0
90	"	341.80	500	P	#		±			#			±	2M <sub>1</sub>	2.5	3.0	0.8
91	"	441.80	400	P	#		+			#			±	2M <sub>1</sub>	3.0	3.5	0.9
92	"	541.60	300	P	#		#			+				1M <sub>1</sub>	5.5	4.0	1.4
93	680-3	70.00	800	P	#					#				2M <sub>1</sub>	3.0	3.5	0.9
94	"	170.00	700	P	#		#			+		±		2M <sub>1</sub>	5.0	5.0	1.0
95	"	270.00	600	P	#					#			±	2M <sub>1</sub>	5.0	4.0	1.3
96	"	370.50	500	P	#		+		±	#				2M <sub>1</sub>	3.5	3.5	1.0
97	"	471.00	400	P	#		#	±		+		±		2M <sub>1</sub>	3.5	4.0	0.9
98	680-4	78.90	800	P	#		+			#	±	±	±	2M <sub>1</sub>	3.0	3.0	1.0
99	"	164.20	700	P	#					+			+	2M <sub>1</sub>	3.0	3.0	1.0
100	"	281.20	600	K	#		#			+			±	2M <sub>1</sub>	3.0	3.0	1.0

表 1 - 3 X 線 回 折 結 果 一 覧 表 ( そ の 4 )

番 号	試 料 名	Q	P $\ell$	kf	M	S/M	S	Kao	Ca $\ell$	Py	絹 雲 母 の ポ リ タ イ プ
101	90315	≡	≡	+			±	±			—
102	90316	≡					≡				—
103	90317	≡					≡		±		—
104	90318	≡		≡			≡	±			—
105	90319	≡	+		±		≡	±			—
106	90320	≡	≡	≡	±		±	±			—
107	90321	≡	≡	≡	±	±	±	±			—
108	90322	≡	≡	+			+	±			—
109	90323	≡					≡				—
110	90324	≡					≡			±	—
111	90325	≡	≡	≡			±	±			—
112	90326	≡		+			≡	±			—
113	90327	≡					≡				—
114	90328	≡	≡	≡			±	±			—
115	90329	≡	≡	≡			+	±	±		—
116	90331	≡					≡		±	±	—
117	90338	≡					≡	±		±	—
118	90343	≡		≡			≡	±	+	±	—
119	90347	≡	≡	≡			±			±	—
120	90352	≡	≡	≡			+	±	±	±	—

No. 1 ~ No. 100 烏奴格吐山の試料

No. 101 ~ No. 120 黄花菜溝の試料

凡例 Q : 石英, P $\ell$  : 斜長石, kf : カリ長石, M : モンモロロナイト,

S/M : 絹雲母 / モンモロロナイト混合層鉱物, S : 絹雲母, Kao : カオリン, Ca $\ell$  : 方解石

Py : 黄鉄鉱

≡ : 回折線強度の非常に強いもの

≡ : 回折線強度の強いもの

+

± : 回折線強度が微弱または存在が不確実なもの

条件 : Cu- モノクロメーター 40kV, 20mA。

\*1 変質帯 K : カリ変質帯 P : フィリック帯 A : 粘土化変質帯 DC : 石英安山岩

表1-4 絹雲母の変質帯別ポリタイプ出現頻度及び結晶度

	1Md	2M <sub>1</sub> + 1M	2M <sub>1</sub>	W (10Å) / W (5Å)
カリ変質帯	27	—	8	1.4
フィリック帯	7	4	40	1.1
粘土化変質帯	2	2	8	1.1
石英安山岩*1	2	—	—	1.5

\*1 石英安山岩は鉍床形成後の貫入岩

表1-5 絹雲母のポリタイプ別結晶度

	W (10Å) 半価幅 (mm)	W (5Å) 半価幅 (mm)	W (10Å) / W (5Å)
1Md	7.3	6.0	1.3
2M <sub>1</sub> + 1M	6.0	4.9	1.1
2M <sub>1</sub>	4.6	4.0	1.1

から1Md, 1M, 2M<sub>1</sub>の順に生成温度が高くなることがわかっている(白水, 1988)。本調査で確認された絹雲母のポリタイプは1Md, 2M<sub>1</sub> + 1M及び2M<sub>1</sub>であり, 全試料中の出現頻度は1Mdが38試料, 2M<sub>1</sub> + 1Mが6試料, そして2M<sub>1</sub>が56試料である(表1-3, 表1-4)。各ポリタイプの出現位置と変質累帯分布との関係を見ると高温型の2M<sub>1</sub>はフィリック帯に多く, 低温型の1Mdはカリ変質帯に多い。この事実は, 流体包有物による均質化温度の分布測定結果とは矛盾している。

### (iii) 絹雲母の結晶度

絹雲母の結晶度は回折X線のピークの半価幅から求めることができる。半価幅の単位は長さ(mm)である。10Åの回折X線ピークの半価幅をW(10Å), 5Åの回折X線ピークの半価幅をW(5Å)と表現すると, W(10Å)やW(5Å)の幅が狭いほど, またW(10Å)/W(5Å)比が1に近いほど絹雲母の結晶度が高いとされている(Shirozu, 1972)。回折結果を表1-5に示す。実際に結晶度を測定した試料は1Mdが34試料, 2M<sub>1</sub> + 1Mが5試料そして2M<sub>1</sub>が54試料である。\*1

タイプ別にみると10Åピークの半価幅W(10Å)の平均値は1Mdが7.3mm, 2M<sub>1</sub> + 1Mが6.0mm, そして2M<sub>1</sub>が4.6mmであり, 5Åピークの半価幅W(5Å)の平均値は1

\*1 1Mdの4試料, 2M<sub>1</sub> + 1Mの1試料及び2M<sub>1</sub>の2試料は10Åのピークが絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物と重なり, 半価幅が測定できなかった。

Mdが6.0mm,  $2M_1 + 1M$ が4.9mm, そして $2M_1$ が4.0mmとなっている。したがって、両ピークとも半価幅は1Mdが広く、 $2M_1$ で最も狭くなっている。次に10Åピークと5Åピークの半価幅比 $W(10\text{Å})/W(5\text{Å})$ の平均値も1Mdが1.3,  $2M_1 + 1M$ 及び $2M_1$ が1.1となっており、1Mdが最も大きくなっている。したがってこれらの結果から1Mdの結晶度は低く、 $2M_1 + 1M$ 及び $2M_1$ の結晶度が高いと判断される。一般に1Mdは結晶構造の不規則なものといわれているが、このことと今回の解析の結果とは対応している。

また、同じポリタイプの試料間でも、半価幅比 $W(10\text{Å})/W(5\text{Å})$ が1より大きいほど結晶度が低いと判断される。

変質帯別の絹雲母の半価幅比を表1-4に示す。それによるとカリ変質帯は1.4と最も大きく、フィリック帯と粘土化変質帯は1.1と低い値を示している。また、鉍床形成後に貫入した石英安山岩が1.5と高い値を示すことが注目される。

以上、X線回折試験からは、絹雲母のポリタイプならびに結晶度に関する限り、本鉍床の鉍化に関連して累帯分布を呈する変質帯のうち、中心部において最も変質が強いと考えられるカリ変質帯において変質鉍物の生成温度が低く、結晶度も低いという結果が得られた。これは明らかに鉍化変質作用の統一的な説明には逆行する事実である。

(b) 全岩分析

鉍化変質に伴う元素の挙動を調べるため、岩石の化学分析を実施した。分析した成分は $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , LOI,  $+\text{H}_2\text{O}$ ,  $-\text{H}_2\text{O}$  の15成分である。それぞれの成分の分析方法と検出限界を表1-6に示す。

表1-6 分析方法と検出限界

	分析方法	検出限界 (%)
$\text{SiO}_2$	ICP法	0.01
$\text{TiO}_2$	"	"
$\text{Al}_2\text{O}_3$	"	"
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	"	"
$\text{FeO}$	滴定法	"
$\text{MnO}$	ICP法	"
$\text{MgO}$	"	"
$\text{BaO}$	"	"
$\text{CaO}$	"	"
$\text{Na}_2\text{O}$	"	"
$\text{K}_2\text{O}$	"	"
$\text{P}_2\text{O}_5$	"	"
LOI	強熱法	"
$+\text{H}_2\text{O}$	"	"
$-\text{H}_2\text{O}$	"	"

試料は測線G620～G680沿いに本年度に掘削した20本の長孔ボーリングから800MLを基準に200m間隔で50個採取した。解析は広範囲の鉍化変質についても調べるため、黄花菜溝区域の試料20個を含めた70個について実施した。分析結果を表1-7に、それに基づいて算出した各成分の間の相関係数を表1-8に示す。

表1-7より、広域的にみると鉍床の近傍では $K_2O$ が増加し $Na_2O$ は減少する傾向にある。一方、他の成分の変動はほとんど認められない。特に $SiO_2$ は鉍床周辺の変質帯に多量の石英として存在するにもかかわらず、その含有量は黄花菜溝区域のそれと大差はない。

上述の $K_2O$ 、 $Na_2O$ の挙動は鉍化変質の強さを反映するものと考えられる。両者の関係は図1-12(A)に示すように明瞭な逆相関の関係にある。表1-8(A)より $K_2O$ と $Na_2O$ と他の各成分との間の相関関係をみると次のことが言える。

①  $K_2O$ と有意な正相関をする成分：なし

$K_2O$ と有意な逆相関をする成分： $MgO$ 、 $Na_2O$ 、 $CaO$ 、 $Fe_2O_3$

②  $Na_2O$ と有意な正相関をする成分： $CaO$ 、 $FeO$

$Na_2O$ と有意な逆相関をする成分： $K_2O$ 、 $SiO_2$

したがって、 $CaO$ は $K_2O$ 、 $Na_2O$ 両方と相関関係にあることを示している。このことから満洲里地区では $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $CaO$ の3成分が斑岩型鉍化作用における成分移動を示す有力な指示元素と考えられる。

高橋(1988)は細倉鉍床\*1の母岩変質について、鉍化変質による成分移動は $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $CaO$ の3成分が顕著であり、鉍化変質の程度を定量的に現すために変質指数という考えを導入し、次に示す式で定義した。

$$\text{変質指数 (I)} = K_2O \times 100 / (K_2O + Na_2O + CaO)$$

細倉鉍床の場合、変質度指数(I)は鉍脈近傍では高い値を示し、鉍脈を離れるにしたがって徐々に低下している。この変質指数(I)を満洲里地区の鉍床に適用すると烏奴格吐山区域の試料が85～95という高い値を示すのに対し、黄花菜溝区域の試料は25～50という低い値を示していることが注目される(表1-7)。

次に烏奴格吐山区域の各成分の挙動をみる。烏奴格吐山区域の各成分間の相関関係を表1-8(B)に示す。同表によれば $K_2O$ 、 $Na_2O$ と各成分との関係は次のとおりである。

①  $K_2O$ と有意な正相関をする成分： $Na_2O$ 、 $CaO$

$K_2O$ と有意な逆相関をする成分： $Fe_2O_3$

②  $Na_2O$ と有意な正相関をする成分： $Na_2O$

$Na_2O$ と有意な逆相関をする成分： $Fe_2O_3$ 、 $MgO$

このことから、烏奴格吐山区域では $K_2O$ と $Na_2O$ が非常に強い正相関( $r=0.80$ )になっている

\*1 東北日本にある鉍脈型鉛・亜鉛鉍床



表1-7 全岩分析結果一覽表(その1)

番号	採り名	採取深度 (m)	レベル (mL)	岩石名 *1	変質帯 *2	SiO <sub>2</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	BaO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	LOI (%)	合計 (%)	+H <sub>2</sub> O (%)	-H <sub>2</sub> O (%)	変質度 *3 (I)
1	620-1	427.00	400	RH	P	71.35	0.34	15.07	1.55	0.63	0.01	0.75	0.05	0.52	0.40	5.07	< 0.01	3.08	98.82	1.90	0.44	85
2	"	229.20	600	RH	A	69.43	0.37	15.74	1.42	0.72	0.13	0.95	0.06	0.64	0.30	5.71	0.03	4.44	99.93	2.40	0.90	86
3	"	28.00	800	RH	A	74.27	0.39	13.95	1.39	0.18	< 0.01	0.56	0.08	0.33	0.25	3.43	0.14	3.86	98.83	2.73	0.52	86
4	620-2	242.00	600	GP	K	70.78	0.32	14.72	1.20	0.80	0.07	0.56	0.11	0.30	1.04	7.62	0.93	2.61	100.16	1.16	0.10	85
5	"	40.30	800	GP	K	74.81	0.31	14.35	0.53	0.22	< 0.01	0.37	0.10	0.19	0.52	6.84	0.02	1.92	100.18	1.42	0.29	91
6	620-3	230.50	600	GP	K	68.56	0.35	16.61	0.57	0.23	< 0.01	0.30	0.08	0.23	0.73	11.00	0.01	1.50	100.18	0.79	0.26	92
7	"	30.70	800	BG	K	66.91	0.51	17.00	0.38	0.16	< 0.01	0.33	0.07	0.23	0.73	8.72	< 0.01	2.51	99.57	1.74	0.59	90
8	620-4	440.00	400	BG	K	79.74	0.06	10.93	0.39	0.19	0.01	0.14	0.07	0.17	0.59	8.94	< 0.01	0.46	101.69	0.23	0.05	92
9	"	242.50	600	GP	K	76.58	0.19	12.53	0.81	0.45	< 0.01	0.27	0.07	0.22	0.64	8.65	0.04	1.15	101.60	0.88	0.34	90
10	620-5	456.50	400	GP	P	75.17	0.17	13.32	1.49	0.66	0.01	0.44	0.05	0.20	0.32	7.48	0.05	2.02	101.36	1.18	0.20	94
11	"	260.00	600	BG	K	75.76	0.20	13.17	1.00	0.68	< 0.01	0.45	0.05	0.22	0.46	8.08	0.06	1.38	101.48	1.08	0.13	92
12	"	58.20	800	BG	P	79.83	0.12	10.99	0.89	0.77	< 0.01	0.33	0.05	0.18	0.36	6.42	0.04	1.50	101.47	0.79	0.09	92
13	640-1	410.80	400	GP	A	69.44	0.40	15.19	2.96	1.59	0.24	0.72	0.05	0.52	0.35	6.44	0.12	3.91	101.94	1.77	0.63	88
14	"	210.90	600	GP	A	71.72	0.34	15.35	2.82	1.24	0.14	0.57	0.04	0.27	0.24	4.81	0.07	3.85	101.44	2.42	0.35	90
15	"	26.00	800	GP	A	74.28	0.38	16.14	0.71	0.23	< 0.01	0.38	0.02	0.21	0.17	2.95	0.04	4.52	100.01	3.98	0.63	89
16	640-2	434.55	400	GP	K	66.05	0.39	15.64	1.78	1.38	0.19	0.90	0.10	0.97	0.52	9.75	0.15	4.43	102.23	1.40	1.03	87
17	"	233.50	600	GP	K	70.93	0.38	14.61	1.49	1.20	0.09	0.47	0.08	0.36	0.61	8.44	0.13	2.83	101.60	1.46	0.58	90
18	640-3	127.00	700	BG	K	78.98	0.06	10.76	0.45	0.22	< 0.01	0.21	0.07	0.24	0.59	6.42	< 0.01	1.23	99.24	0.51	0.13	89
19	"	30.60	800	GP	P	75.70	0.81	12.71	0.63	0.23	< 0.01	0.29	0.07	0.23	0.58	6.65	0.01	1.79	99.21	1.00	0.24	89
20	640-5	445.60	400	GP	P	79.03	0.14	10.09	1.62	1.90	0.01	0.31	0.03	0.16	0.39	5.10	< 0.01	3.42	102.20	1.65	0.28	90
21	"	243.50	600	GP	K	66.29	0.43	15.75	2.80	0.66	0.73	0.51	0.05	0.30	0.64	8.40	0.01	1.85	98.43	0.61	0.04	90
22	"	44.30	800	BG	P	74.63	0.20	13.24	0.50	0.23	< 0.01	0.30	0.07	0.18	0.65	8.40	< 0.01	1.29	99.70	0.67	0.09	91
23	640-6	269.80	600	GP	P	57.85	0.75	21.23	4.14	0.46	< 0.01	1.20	0.05	0.19	0.23	5.84	0.12	6.04	98.11	3.23	0.26	93
24	"	70.80	800	GP	P	77.29	0.20	11.73	2.86	0.23	< 0.01	0.40	0.03	0.15	0.18	3.22	< 0.01	3.07	96.37	1.23	0.03	91
25	640-7	247.60	600	GP	A	70.55	0.25	14.90	2.27	0.45	0.08	0.83	0.05	0.29	0.25	6.09	< 0.01	3.60	99.61	1.63	0.30	92
26	"	68.90	800	GP	P	73.19	0.19	12.66	3.73	0.29	< 0.01	0.43	0.07	0.01	0.14	3.72	< 0.01	3.54	97.99	1.41	0.64	96
27	660-1	434.70	400	BG	K	78.31	0.08	11.36	1.33	0.58	< 0.01	0.21	0.10	0.02	0.29	4.64	< 0.01	2.08	99.00	0.99	0.08	94
28	"	234.20	600	PR	-	65.97	0.40	16.22	2.07	1.18	0.12	0.94	0.10	1.17	4.33	3.54	0.03	3.92	99.98	1.05	0.06	44
29	"	37.00	800	GP	P	67.64	0.32	14.62	5.18	0.60	< 0.01	0.53	0.12	0.01	0.20	4.12	0.07	4.84	98.26	1.83	0.04	95
30	660-2	461.00	400	BG	K	77.85	0.07	11.94	0.52	0.26	< 0.01	0.22	0.11	0.10	0.49	6.14	< 0.01	1.28	98.99	0.71	0.12	91

表1-7 全岩分析結果一覽表(その2)

番号	ホリノ名	採取深度 (m)	レベル (ML)	岩石名 *1	変質帯 *2	SiO <sub>2</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	BaO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	LOI (%)	合計 (%)	+H <sub>2</sub> O (%)	-H <sub>2</sub> O (%)	変質帯 *3 (I)
31	660-2	260.00	600	BG	K	78.31	0.07	11.40	0.50	0.21	< 0.01	0.17	0.11	0.11	0.54	6.45	< 0.01	1.09	98.99	0.60	0.10	91
32	"	59.80	800	BG	K	76.46	0.09	12.84	0.70	0.23	< 0.01	0.35	0.10	0.23	0.41	4.72	< 0.01	2.26	98.40	1.63	0.20	89
33	660-3	472.50	400	BG	K	77.74	0.07	11.16	0.45	0.20	0.03	0.21	0.12	0.28	0.77	6.87	< 0.01	0.91	98.82	0.31	0.04	87
34	"	272.50	600	BG	K	75.50	0.06	11.98	0.53	0.26	0.01	0.20	0.11	0.23	0.80	7.68	< 0.01	1.04	98.40	0.48	0.07	88
35	"	72.00	800	BG	K	76.63	0.07	12.57	0.60	0.30	< 0.01	0.31	0.10	0.21	0.55	6.18	< 0.01	1.58	99.11	1.06	0.07	89
36	660-4	460.20	400	BG	K	75.24	0.07	12.80	0.54	0.36	0.04	0.18	0.07	0.23	0.65	8.07	< 0.01	1.18	99.44	0.59	0.05	90
37	"	271.90	600	BG	P	77.33	0.07	12.81	0.52	0.36	< 0.01	0.29	0.04	0.17	0.36	5.91	0.03	< 0.01	97.90	1.04	0.06	92
38	"	59.60	800	BG	P	75.84	0.20	12.30	0.53	0.25	< 0.01	0.27	0.09	0.13	0.49	6.29	< 0.01	1.43	97.83	0.89	0.11	91
39	660-5	275.00	600	BG	P	72.62	0.25	14.21	2.67	1.00	0.01	0.62	0.09	0.14	0.24	4.39	< 0.01	3.22	99.47	1.63	0.09	92
40	"	74.00	800	BG	P	72.42	0.18	12.49	4.31	0.64	< 0.01	0.51	0.07	0.07	0.13	3.69	< 0.01	3.82	98.35	1.32	0.02	95
41	680-1	212.80	600	GP	P	66.52	0.45	15.22	4.78	0.55	< 0.01	0.76	0.13	0.28	0.27	4.53	< 0.01	4.63	98.14	1.67	0.03	89
42	"	16.90	800	GP	P	71.16	0.60	16.69	1.10	0.13	< 0.01	0.89	0.11	0.14	0.20	4.82	< 0.01	3.26	99.12	2.31	0.13	93
43	680-2	442.30	400	BG	P	76.10	0.08	12.09	2.41	0.68	< 0.01	0.34	0.09	0.29	0.35	4.32	< 0.01	2.47	99.25	1.04	0.02	87
44	"	240.60	600	BG	P	74.94	0.07	13.14	1.51	0.73	< 0.01	0.16	0.11	< 0.01	0.32	6.19	< 0.01	2.21	99.40	1.06	0.10	95
45	"	40.50	800	BG	P	75.39	0.07	12.17	3.41	0.17	< 0.01	0.18	0.07	< 0.01	0.13	3.62	< 0.01	3.24	98.48	1.22	0.01	96
46	680-3	471.00	400	BG	K	76.70	0.07	11.86	1.69	0.95	< 0.01	0.25	0.10	0.03	0.30	5.55	< 0.01	1.95	99.44	0.91	0.04	94
47	"	270.50	600	BG	P	79.71	0.04	10.84	1.88	0.71	< 0.01	0.21	0.07	0.04	0.12	3.37	< 0.01	2.27	99.28	1.22	0.03	95
48	"	70.30	800	BG	P	81.64	0.05	10.61	0.86	0.40	< 0.01	0.38	0.06	0.25	0.22	3.28	< 0.01	1.84	99.41	1.08	0.02	87
49	680-4	281.20	600	BG	K	74.77	0.07	13.06	1.94	0.16	< 0.01	0.23	0.11	< 0.01	0.39	6.93	< 0.01	2.10	99.79	0.84	0.03	94
50	"	78.90	800	BG	P	71.61	0.19	13.77	3.20	0.62	0.01	0.52	0.10	0.18	0.28	4.93	0.01	3.55	98.97	1.63	0.06	91

表1-7 全岩分析結果一覽表(その3)

番号	試料名	岩石名 *1	変質帯 *2	SiO <sub>2</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	BaO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	LOI (%)	合計 (%)	+H <sub>2</sub> O (%)	-H <sub>2</sub> O (%)	変質度 *3 (I)
51	90301	BG	—	72.54	0.18	13.88	1.29	0.20	0.01	0.23	0.05	1.49	4.15	3.53	0.04	0.93	98.52	0.58	0.16	39
52	90302	AR	—	74.61	0.14	12.91	1.14	0.33	0.01	0.30	0.06	0.65	3.63	4.48	0.01	1.71	99.98	0.75	0.36	51
53	90303	BG	—	75.74	0.08	12.43	0.85	0.36	< 0.01	0.16	0.10	0.57	3.86	4.19	< 0.01	0.94	99.28	0.41	0.18	49
54	90304	GP	—	72.44	0.26	15.70	1.46	0.40	0.02	0.78	0.04	0.28	0.29	4.98	< 0.01	3.11	99.77	2.40	0.51	90
55	90305	GP	—	70.57	0.24	15.33	1.56	0.71	0.05	0.56	0.08	0.92	4.51	3.27	0.08	2.03	99.89	1.22	0.34	38
56	90306	GP	—	70.61	0.25	15.31	2.15	0.37	0.04	0.29	0.08	0.41	3.93	3.37	0.08	2.63	99.51	1.65	0.54	44
57	90308	BG	—	72.93	0.16	12.96	1.87	0.90	0.04	0.33	0.06	1.09	4.00	3.85	0.03	0.78	98.98	0.46	0.16	43
58	90310	RH	—	70.94	0.28	13.70	2.84	0.96	0.06	0.54	0.08	1.03	3.68	3.88	0.05	2.36	100.40	1.28	0.84	45
59	90311	GR	—	75.02	0.14	12.62	1.58	0.30	< 0.01	0.18	0.06	0.48	3.84	3.89	< 0.01	1.31	99.40	0.78	0.23	47
60	90312	BG	—	74.59	0.08	13.24	1.19	0.40	0.01	0.13	0.09	0.73	4.10	4.43	< 0.01	1.31	99.32	0.56	0.40	48
61	90313	AR	—	75.37	0.08	12.74	1.11	0.28	< 0.01	0.16	0.03	0.37	2.86	5.96	< 0.01	0.77	99.73	0.45	0.20	65
62	90314	BG	—	73.97	0.19	13.25	2.08	0.65	0.02	0.26	0.05	0.66	3.47	3.75	< 0.01	1.63	100.01	1.12	0.41	48
63	90335	AD	—	59.67	0.83	17.48	6.16	3.41	0.12	2.17	0.16	4.97	3.53	1.76	0.09	2.53	102.87	1.45	0.20	17
64	90337	RH	—	68.81	0.32	13.58	2.32	0.85	0.08	0.59	0.17	2.18	2.08	5.03	< 0.01	3.93	99.93	1.20	0.22	54
65	90340	GR	—	74.36	0.15	11.25	3.14	0.86	0.02	0.48	0.04	0.90	3.20	3.96	< 0.01	2.20	100.60	0.28	0.05	49
66	90341	GR	—	69.75	0.20	13.63	1.89	0.66	0.05	0.87	0.06	1.72	3.72	4.53	< 0.01	3.20	100.28	0.65	0.16	45
67	90342	DC	—	67.88	0.38	15.84	2.94	1.37	0.03	1.12	0.09	2.79	4.81	2.61	0.02	1.48	101.36	0.52	0.07	26
68	90349	GR	—	69.43	0.21	13.79	1.63	0.33	0.03	0.39	0.13	1.96	0.34	7.18	< 0.01	3.93	99.36	1.51	0.12	76
69	90350	BG	—	70.54	0.23	13.42	2.73	0.32	0.01	0.60	0.06	1.16	3.51	4.13	< 0.01	2.60	99.32	0.58	0.12	47
70	90351	BG	—	70.12	0.31	14.11	2.52	0.42	0.02	0.46	0.06	1.34	3.33	4.63	< 0.01	3.04	100.36	0.90	0.24	50

No.1~No.50 烏坂格吐山の試料

No.51~No.70 黄花草澤の試料

\*1 岩石名 BG:黒雲母花崗岩, GP:花崗斑岩, RH:流紋岩, GR:花崗岩, AR:アブライト, AD:安山岩, DC:石英安山岩, PR:斑状流紋岩

\*2 変質帯 K:カリ変質帯, P:フィリック帯, A:粘土化変質帯

\*3 変質指数(I)は次式で定義する。

$$\text{変質指数 (I)} = \frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}}$$

表1-8 各成分間の相関係数

(A) 烏奴格吐山と黄花菜溝の両方の試料 (n=69) \*1

<相関係数>

	Al2O3	BaO	CaO	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	TiO2	FeO
Al2O3	1.00	0.06	0.31	0.35	0.02	0.68	0.30	0.11	0.48	-0.89	0.87	0.20
BaO	.....	1.00	0.33	0.15	0.03	0.19	-0.06	0.00	-0.03	-0.22	0.12	0.05
CaO	.....	.....	1.00	0.39	-0.34	0.66	0.15	0.59	0.18	-0.52	0.43	0.37
Fe2O3	.....	.....	.....	1.00	-0.49	0.60	0.20	0.11	0.25	-0.61	0.47	0.36
K2O	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.26	0.19	-0.44	0.05	0.05	-0.05	-0.18
MgO	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.26	0.14	0.42	-0.76	0.80	0.39
MnO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.01	0.23	-0.39	0.33	0.31
Na2O	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.01	-0.25	0.05	0.26
P2O5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.44	0.52	0.43
SiO2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.85	-0.32
TiO2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.29
FeO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00

| $\gamma$ | > 0.2352のとき相関係数は有意。

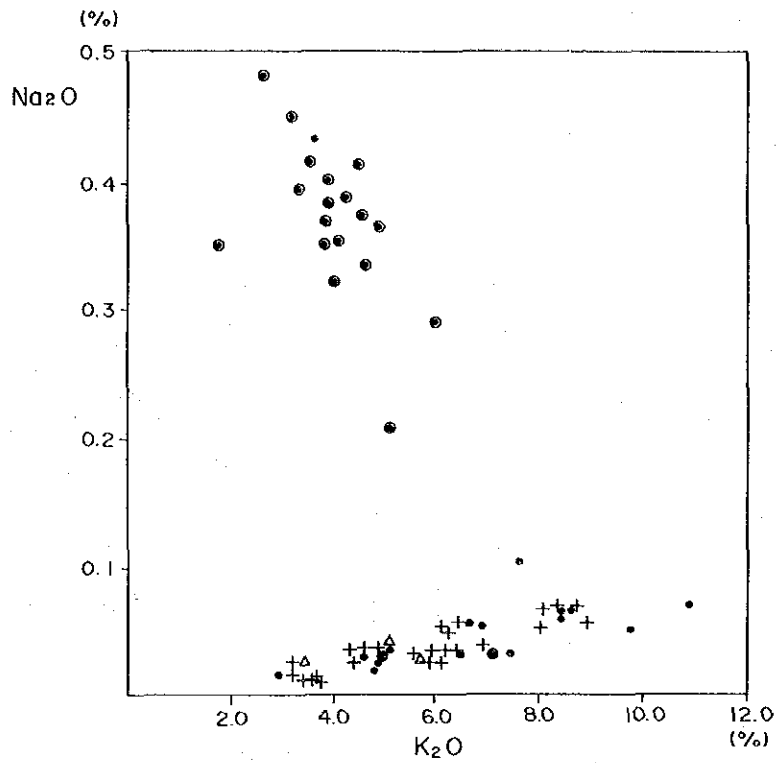
(B) 烏奴格吐山だけの試料 (n=49) \*1

<相関係数>

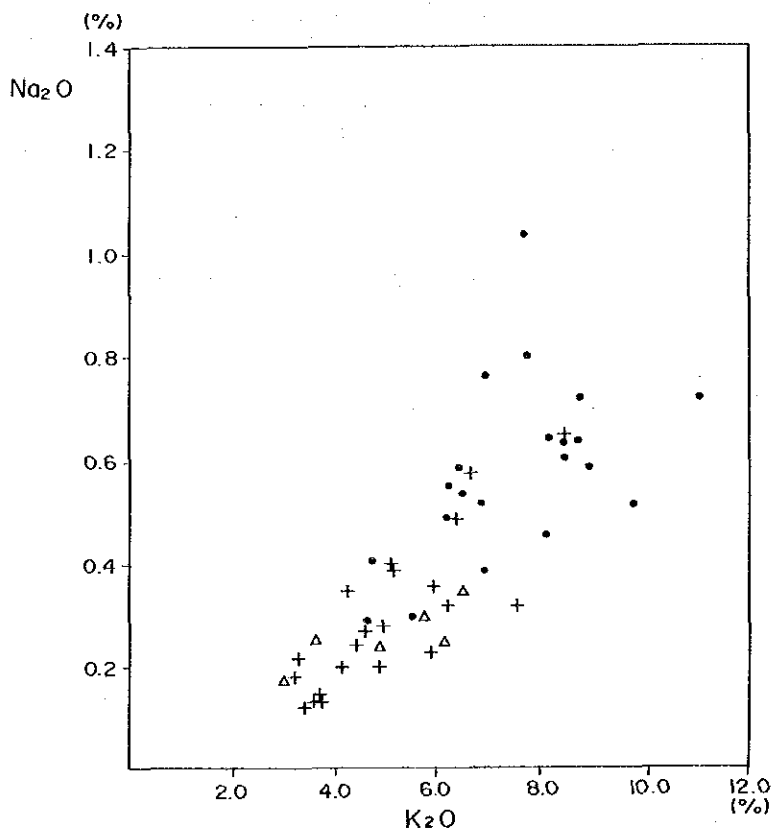
	Al2O3	BaO	CaO	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	TiO2	FeO
Al2O3	1.00	-0.09	0.36	0.30	0.18	0.75	0.28	-0.03	0.46	-0.92	0.90	0.05
BaO	.....	1.00	-0.14	0.00	0.10	-0.14	-0.19	0.26	-0.16	-0.03	-0.14	-0.24
CaO	.....	.....	1.00	-0.10	0.33	0.55	0.38	0.25	0.52	-0.38	0.39	0.38
Fe2O3	.....	.....	.....	1.00	-0.46	0.49	0.18	-0.39	0.20	-0.54	0.32	0.26
K2O	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.11	0.26	0.80	0.15	-0.19	0.10	0.04
MgO	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.25	-0.29	0.50	-0.77	0.79	0.29
MnO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.17	0.20	-0.38	0.30	0.32
Na2O	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.06	0.01	-0.05	-0.10
P2O5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.46	0.51	0.44
SiO2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	-0.85	-0.17
TiO2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00	0.14
FeO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.00

| $\gamma$ | > 0.2787のとき相関係数は有意。

\*1 烏奴格吐山の試料のうち1試料は鉱床形成後の貫入岩であるため、相関係数の計算から除いた。



(A) 烏奴格吐山と黄花菜溝両方の試料による (岩種区分)



(B) 烏奴格吐山だけの試料による (変質帯区分)

図1-12 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>Oダイアグラム

ることがわかる。この関係は広域的な  $K_2O$ と $Na_2O$ との関係とはまったく逆である。烏奴格吐山区域の  $K_2O$ - $Na_2O$ ダイアグラムを図1-12(B)に示す。同図は上の(A)図から黄花菜溝の試料を取り除き、たて軸の  $K_2O$ 軸を拡大したもので、変質帯別にプロットしてある。同図よりカリ変質帯で $Na_2O$ が増加していることが読みとれる。このことが  $K_2O$ と $Na_2O$ との正相関に大きく寄与しているものと考えられる。

一般に、斑岩型銅鉍化作用においてはカリ変質帯は鉍化変質帯の中央部に位置し、最も $Na_2O$ に乏しい場所と考えられているにもかかわらず、上記のように本鉍床ではフィリック帯や粘土化変質帯より、カリ変質帯で $Na_2O$ 含有量の増加が見られるということは異常なことである。

### (c) 検 討

以上の室内試験の結果をまとめると次のとおりである。

イ) 流体包有物のデータによれば本鉍床の生成温度はカリ変質帯からフィリック帯、粘土化変質帯に向け順次低下している。

ロ) 絹雲母のポリタイプに関し、低温型の  $1M_d$  がカリ変質帯に多く、高温型の  $2M_1$  がフィリック帯に多い。

ハ) 絹雲母の結晶度に関し、カリ変質帯に多く出現する  $1M_d$  では結晶度が低く、フィリック帯に多い  $2M_1 + 1M$  や  $2M_1$  は結晶度が高い。

ニ) フィリック帯や粘土化変質帯よりカリ変質帯の方が $Na_2O$ 含有量が多い。

これらの事実をみるとイ) とロ), ハ), ニ) とは矛盾していることがわかる。すなわち、通常の斑岩型銅鉍床の鉍化変質条件ではイ) が成立するとともにロ), ハ), ニ) の逆が成立している。ところがこの烏奴格吐山鉍床ではそれが成立せず、これらの間に矛盾がある。これについては2つの可能な理由が考えられる。すなわち、現在の北鉍床形成後に新たな熱水活動が生じた可能性があれば、その影響が北鉍床の鉍化変質にあらわれているとみることができる。

表1-9 岩石の化学分析

(単位は%)

	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$FeO$	$MnO$	$MgO$	$CaO$	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$
安山玢岩	65.24	0.67	08.80	3.14	0.10	0.022	0.38	0.60	2.74	3.69	0.12
斑状流紋岩	77.21	0.015	13.40	0.67	0.51	0.009	0.29	0.52	2.23	2.88	0.027
石英安山岩	66.70	0.22	15.55	0.56	2.06	0.033	0.56	2.83	4.20	4.32	0.089
花崗斑岩	70.27	0.21	15.31	1.24	0.98	0.012	0.26	0.79	2.65	3.69	0.073
流紋岩	70.25	0.35	15.45	3.60	0.48	0.009	0.42	0.26	0.85	3.69	0.072
黒雲母花崗岩	72.38	0.38	13.99	1.04	1.40	0.037	0.24	0.68	4.04	3.63	0.14

(黒竜江省冶金地質勘探公司, 1983)

表1-10. 烏奴格吐山鉍床変質帯総括表

	カリ変質帯	フリック帯	粘土化変質帯
定義	岩石薄片鑑定により、次生カリ長石が生成している場所。	岩石薄片鑑定により、絹雲母化の強い場所。または、X線回折により、絹雲母の反射強度比が強い場所。	岩石薄片鑑定により、加水雲母化の強い場所。また、X線回折では絹雲母/モンモリロナイト混合層鉍物の強度比が強い場所やモンモリロナイト、絹雲母/モンモリロナイト混合層鉍物、そしてカオリンの三者が同時に出現している場所。
特徴的な鉍物	次生カリ長石、石こう	石英、絹雲母	加水雲母 (絹雲母/モンモリロナイト混合層鉍物、モンモリロナイト、カオリン)
流体包有物			
均質化温度 ( ) 内は平均値	317 ~ 442°C (388°C)	308 ~ 445°C (371°C)	324 ~ 380°C (350°C)
塩濃度 ( ) 内は平均値	6.8 ~ 18.1wt.% (11.6wt.%)	9.4 ~ 15.5wt.% (11.4wt.%)	6.8 ~ 13.2wt.% (9.8wt.%)
ポリタイプ ( ) 内は頻度	1Md(27), 2M <sub>1</sub> +1M(-), 2M <sub>1</sub> (8)	1Md(7), 2M <sub>1</sub> +1M(4), 2M <sub>1</sub> (40)	1M <sub>1</sub> (2), 2M <sub>1</sub> +1M(2), 2M <sub>1</sub> (8)
絹雲母の回折			
W (10Å)/ 結晶度 W (5Å)	1.4	1.1	1.1
全岩分析			
Na <sub>2</sub> O含有量 ( ) 内は平均値	0.29~1.04% (0.58%)	0.13~0.65% (0.30%)	0.17~0.35% (0.26%)
変質強度 ( ) 内は平均値	85~94 (90)	85~96 (92)	86~92 (89)
鉍体との関係	主にモリブデン鉍体が賦存する。	主に銅鉍体が賦存する。	鉍体の外部に相当する。

また、もう一つの可能な推定理由は、烏奴格吐山鉱床の中央部にカリ変質帯に接して、鉱床形成後に貫入した石英安山岩の岩株の存在に関するものである。同岩の生成温度はカリ変質帯の生成温度より低く、同岩中の $\text{Na}_2\text{O}$ 含有量は周囲に分布する岩石より高い(表1-9)。したがって石英安山岩の貫入に際し、弱い熱水活動が生じ、その影響がこの石英安山岩の周辺に及んだものと考えられる。すなわち、当石英安山岩はほぼカリ変質帯中に貫入しており、この部分に微量の $\text{Na}_2\text{O}$ の添加を生じ、かつ、この低温の熱水活動によりカリ変質帯の絹雲母は鉱化変質により生じた結晶度の高い $2M_1$ から結晶度の $1M_d$ へ再結晶したことが推定される。

烏奴格吐山鉱床における変質帯の総括を表1-10に示す。

### 1.3.3 二次富化作用

本鉱床上部の風化帯は下部から上部にかけて二次硫化物富化帯、酸化帯、溶脱帯と移化している。

#### (1) 二次硫化物富化帯

二次硫化物富化帯は北鉱床では東部の測線G660及びG680沿いに発達して分布している。

本帯は輝銅鉱、銅藍、斑銅鉱の存在によって特徴づけられ、下位の初生硫化帯と比較して銅品位が1.5~3倍程度高くなっている。本帯は主として初生銅鉱化帯の上部に発達し、平均厚さ50m程度で、断層付近では厚くなり、厚い場合は100mにも達する。構成鉱物は輝銅鉱を主として銅藍、斑銅鉱を伴っている。輝銅鉱は鉱染状または岩石の割れ目に沿って粒状を呈して分布し、一部は煤状を呈する。銅藍は黄銅鉱を交代して、その周囲に皮殻状に、また岩石の割れ目に沿って分布している。

二次硫化物富化帯の形成については地表付近の黄鉄鉱が風化作用を受け、硫酸酸性水となって初生銅鉱物を分解・溶出し、溶出した銅が地下水面より下位の溶存酸素の存在しない場所で硫化鉱物として沈澱するとされている(石原, 1977)。本鉱床の二次硫化物富化帯の上面の標高は不規則に変化し、一定しない。しかし、地下水面は標高760~790m付近にあり、ほぼ一定している。このことから本鉱床の二次硫化物富化帯は地下水位の変動などにより断続的に形成したと推定される。

#### (2) 酸化帯

酸化帯は平均厚さ30m程度で、くじゃく石を主として藍銅鉱、珪くじゃく石を伴う。北鉱床北東部の測線G660に沿った地域は溶脱帯を欠き、酸化帯が直接地表に露出している。

#### (3) 溶脱帯

銅の分析値が検出限界(0.02%)以下の場所を溶脱帯とした。溶脱帯は厚さ20~30m程度で、最大は80mに達する。本帯は多量の褐鉄鉱、赤鉄鉱によって特徴づけられ、黄色のモリブデン酸化物を伴う場合がある。岩石中に含まれる黄鉄鉱は溶脱してそのあとは空隙となっていることが多い。



溶脱帯は地表付近に発達するため岩石は風化し、RQD\*<sup>1</sup>は10%以下となっている（酸化帯は15~30%、二次硫化物富化帯は40~70%、初生鉱化帯は80%以上）。

#### (4) 物相分析

鉱石中に含まれる銅、モリブデンの酸化状態を調べるため、物相分析を実施した。分析項目及び試料数は銅については3項目（酸化銅、硫酸銅、硫化銅）20件、またモリブデンについては2項目（酸化モリブデン、硫化モリブデン）20件である。この項目区分を用い、試料の鉱質を次のように分類した。

酸化鉱（酸化物比率30%以上）

混合鉱（酸化物比率10~30%）

硫化鉱（酸化物比率10%以下）

分析方法を図1-13及び図1-14に、また分析結果を資料4に示す。なお化学分析は銅については原子吸光法を、またモリブデンについては比色法を用い、その検出限界はCu:3ppm, Mo:0.5ppmである。

資料4に示すように、銅の分析試料は20試料すべてが硫化鉱に分類され、モリブデン分析試料は大部分が硫化鉱と酸化鉱に分類されることが判明した。

---

\*1 RQDとは Rock Quality Designation の略で、採取されたボーリングコアのうち、10cm以上の長さをもつコアのみを採取コアとして計算した場合の採取率（塚田ほか、1980）。

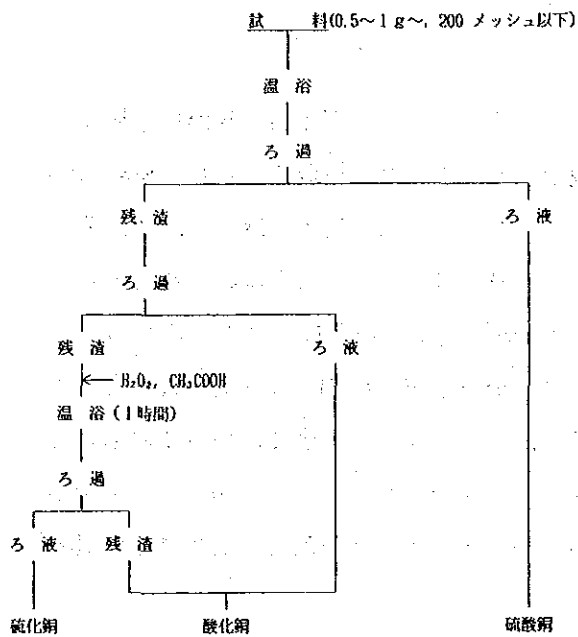


図1-13 銅の物相分析フローチャート

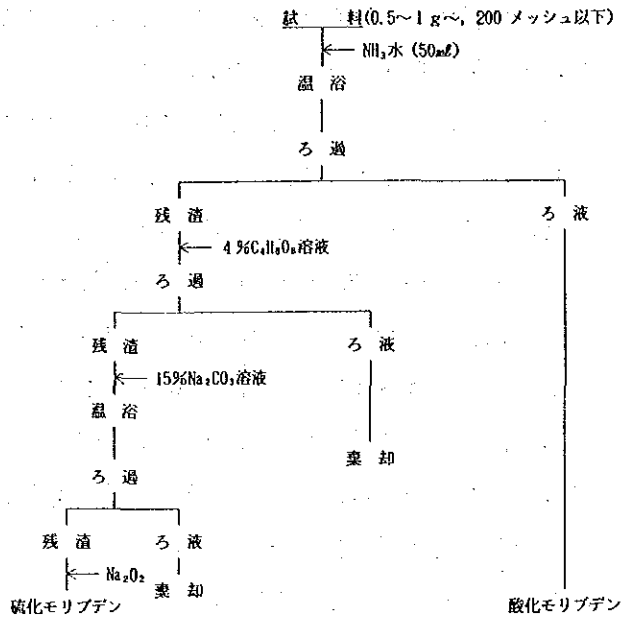


図1-14 モリブデンの物相分析フローチャート

## 1.4 地質統計学的手法によるボーリング密度の検討

### 1.4.1 第4年次ボーリング調査計画

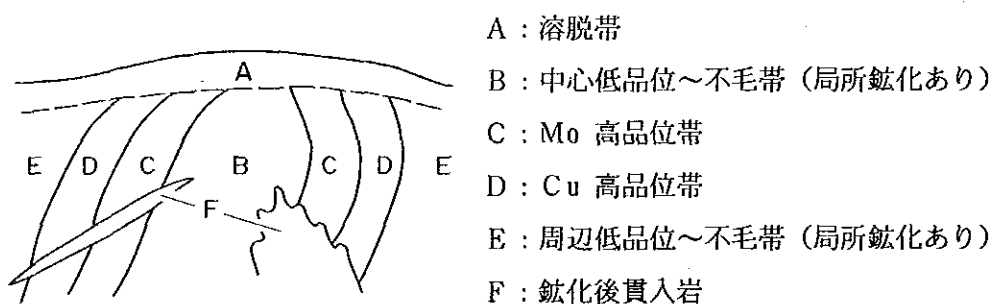
第4年次のボーリング調査に先立ち、1989年に入手した既存ボーリング資料を基礎に地質統計学的手法（クリッキング法、Kriging 法）による最適ボーリング密度の検討を行った。検討に供したボーリング孔は1979年から1981年に実施されたボーリングのうちの56本（ZK-1, 2, 7~10, 12~28, 30~36, 38~50, 52, 53, 56~61, 67, 76~78, 88）で、これらはいずれも垂直孔で深度は341.07m~801.01mの範囲にあり、主に200m格子状に実施されている。これらボーリングの孔口標高及び約2mごとに分析されたCu・Mo分析品位、8,494件を基礎資料として入力したが、入力分析品位は比較的高品位部の分析値で、ボーリングコア全てについてのもではなかった。検討は、(1)資料整備、(2)バリオグラムとクリッキングパラメータ、(3)ボーリングパターンの設定と品位推定誤差、(4)最適ボーリング間隔・パターン・深度の選定、(5)最適分析間隔の選定、(6)まとめの手順で行われた。

#### (1) 資料整備

入力データをコンピュータ解析用に次のような処理を行った。

① 品位：分析試料のコア長は一定ではないので、検討コア長を一定にするため、海水準に合わせた15m加重平均品位（15m品位）を計算し、バリオグラム検討の基礎資料とした。15m間に7.5m以上の分析コア長があれば、7.5m以上の部分の平均Cu, Mo品位をもって15m間の中心点のCu, Mo品位とした。一方7.5m以下の分析コア長の場合は鉍化後の貫入岩扱いとし、品位を与えていない。

② 品位区分：本鉍床は斑岩型鉍床の特長をよく表した下図のような形態を示している。



〔模式断面図〕

すべての15m品位資料をB~Eに区分し、C, Dのみを鉍床として扱い、以下のバリオグラム・クリッキングの検討を行った。

C, Dの境界は“ $5 \times \text{Mo品位} / \text{Cu品位}$ ”の比率を目安として、この値が1より大をC (Mo高品位帯)、1より小をD (Cu高品位帯)に区分した。

③ Cu換算品位 (Eq, Cu%)：Cu換算品位を次式で求め、鉍床全体を総合的に検討した。

$$\text{Eq, Cu}(\%) = \text{Cu}(\%) + 2.5\text{Mo}(\%)$$

## (2) バリオグラムとクリッキングパラメータ

本鉱床は鉱化部が一様にまとまっている塊状鉱床と異なり、平面的に見ると馬蹄形を示す典型的な斑岩型鉱床で、かつMo 高品位帯（C帯）とCu 高品位帯（D帯）が明瞭に分帯できる。このため3方向のバリオグラムを一義的に（単純に）求めることが非常に難しい。さらにボーリングによって得られる資料は鉱床のある方向のものしか得られないという特徴がある。すなわち、ボーリング方向（ここでは垂直方向）には連続資料があるため有効なバリオグラムが得易いが、水平方向にはボーリング間の試料が全くないこと、ボーリング間隔（ここでは200m）ごとの少ない試料のペアしかとれないこと、さらに鉱化部の連続性がボーリング格子と完全に平行であることはまれであることなどにより、ボーリングの少ない初期探鉱段階における水平方向での有効なバリオグラムを得ることの期待は少ない。

このため以下の手順でバリオグラムの検討を行った。まず、Cu, Mo の挙動をチェックするため、垂直方向でのCu, Mo 品位の分帯別のバリオグラムの検討をし、次に、Eq. Cu 品位での垂直方向、直交する2つの水平方向（長軸方向：N48° E格子及び短軸方向：N42° W格子）のバリオグラムの検討を行い、クリッキングによる推定誤差計算に供する3方向のバリオグラムのパラメータを抽出することとした。

① Cu 品位の垂直方向のバリオグラム：Mo 品位帯では、Cu は平均 0.092% Cu, そしてシル値と分散値 (0.00360) はほぼ一致していることで、低品位で安定していることを示す。Cu 高品位帯（平均 0.266% Cu）では、バリオグラムが距離 150m 付近で低くなり、Cu 品位は約 150m の周期性を示す。Cu・Mo 高品位帯（鉱床全体）ではCu 高品位帯の影響が強く表れ、ナゲット値 (C<sub>0</sub>) 約 0.007, シル値 (C + C<sub>0</sub>) 約 0.015, 距離 (a) 約 300m の比較的明瞭なバリオグラムを示す。

② Mo 品位の垂直方向のバリオグラム：Mo 高品位帯（平均 0.043% Mo）では、バリオグラムは距離約 100m で分散値 (0.00049) に達しており、連続性に比較的乏しいことを示すが、距離約 300m でバリオグラムが急降下していることで、Mo は連続性にやや欠けながらも全体として垂直方向に約 300m 程度の高品位部がまとまることが考えられる。Cu 高品位帯では、Mo は平均 0.022 % Mo と低く、シル値も分散値に達せず、Mo はごく低品位で安定している。鉱床全体では、Mo はMo 高品位帯の影響が強く表れ、距離 100m 及び 300m の周期性を示している。

③ Eq. Cu 品位の垂直方向・水平方向のバリオグラム：垂直方向のEq. Cu バリオグラムは100 ~ 150m で一時上昇を中断し、150 ~ 230m 間で再び上昇し分散値に達する。100 ~ 150m のバリオグラムの平坦部はCu 高品位部連続 150m とMo 高品位部短周期 100m の影響によるものであろう。この一時平坦部を無視したスフェリカルタイプのバリオグラムを描くと、C<sub>0</sub> = 0.005, C + C<sub>0</sub> = 0.0155, a = 280m のパラメータが得られる。一方、一時平坦部をもたらしCu, Mo 高品位部の連続性を重視したスフェリカルタイプのバリオグラムを描くと、C<sub>0</sub> = 0.005, C + C<sub>0</sub> = 0.0115, a = 145m となる。鉱床の評価は高品位部の挙動に左右されるので、

高品位部の連続性を重視した後者のバリオグラムのパラメータを採用し、以下のクリッキング解析をすることにする。

長軸方向と短軸方向のEq. Cu バリオグラムは一部 100m間隔のボーリングがあるが数が少ないので、200 mごとのバリオグラム値のみを示した。これら2水平方向のバリオグラムから読み取れることは、長軸方向では全てのバリオグラムが分散値より低く、長軸方向の連続性が非常によく  $a > 1,000\text{m}$ の可能性があること、一方短軸方向の連続性が非常に乏しく  $a > 200\text{m}$ であることが予想される。従って、これら水平方向のバリオグラムのバリオグラムタイプ、 $C_0$ ,  $C + C_0$ ,  $a$ を既に得られている垂直方向のバリオグラムと鉱体規模の2つから推定した。

本鉱床の鉱体長は水平的に長軸方向約 2,000m, 短軸方向約 300mの馬蹄形で、全体として平均傾斜NW約55°であるので、鉱床の垂直鉱体長は短軸鉱体長約 300mの正接55°, 約 430mとなる。水平長軸方向, 水平短軸方向, 垂直方向の  $a$  (m) がそれぞれ3方向の鉱体規模に比例すると考えれば、垂直方向の鉱体長 430mに対し  $a = 145\text{m}$ であることから、水平長軸方向では同 2,000 mに対し  $a = 670\text{m}$ , 水平短軸方向では同 300mに対し  $a = 100\text{m}$ が得られる。さらにナゲット値 ( $C_0$ )とシル値 ( $C + C_0$ )は一般に垂直方向と水平方向で同じ値となる場合が多いので、既に垂直方向で得られている  $C_0 = 0.005$ ,  $C + C_0 = 0.0115$ の値を水平方向のバリオグラムに採用した。

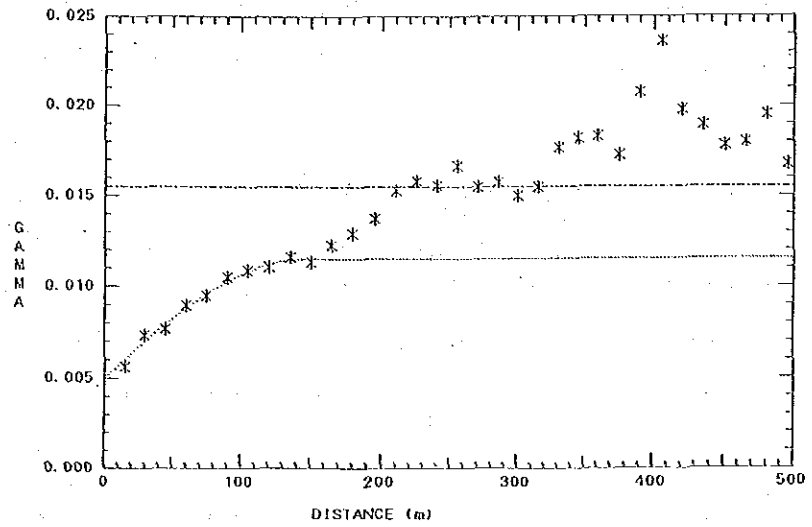
3方向のバリオグラムのパラメータをまとめると下記の通りとなる。

	ナゲット ( $C_0$ )	シル ( $C + C_0$ )	レンジ ( $a$ )
水平短軸方向	0.0050	0.0115	100
水平長軸方向	0.0050	0.0115	670
垂直方向	0.0050	0.0115	145

図1-15にこれらのパラメータによるスフェリカルタイプのバリオグラムを点線で示した。

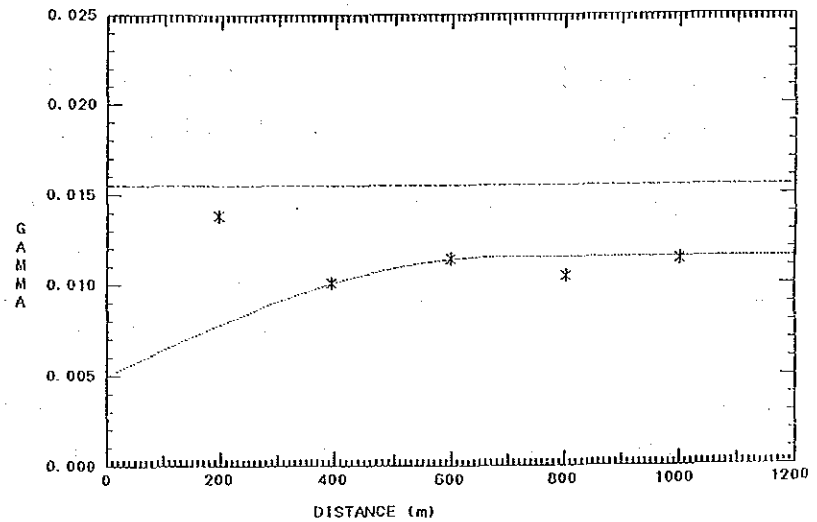
垂直方向（鉱床全体）

Zone - C + D  
 Item - Eq. Cu(%)  
 Number of data - 955  
 Step - 15.0  
 Dip - 90.0  
 Azimuth - 0.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.25100  
 Variance - 0.01550  
 Variogram :  
 C0- 0.00500 A0- 0.000  
 C1- 0.00650 A1- 145.000



長軸方向（鉱床全体）

Zone - C + D  
 Item - Eq. Cu(%)  
 Number of data - 955  
 Step - 210.0  
 Dip - 0.0  
 Azimuth - 48.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.25100  
 Variance - 0.01950  
 Variogram :  
 C0- 0.00500 A0- 0.000  
 C1- 0.00650 A1- 670.000



短軸方向（鉱床全体）

Zone - C + D  
 Item - Eq. Cu(%)  
 Number of data - 955  
 Step - 210.0  
 Dip - 0.0  
 Azimuth - 138.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.25100  
 Variance - 0.01950  
 Variogram :  
 C0- 0.00500 A0- 0.000  
 C1- 0.00650 A1- 100.000

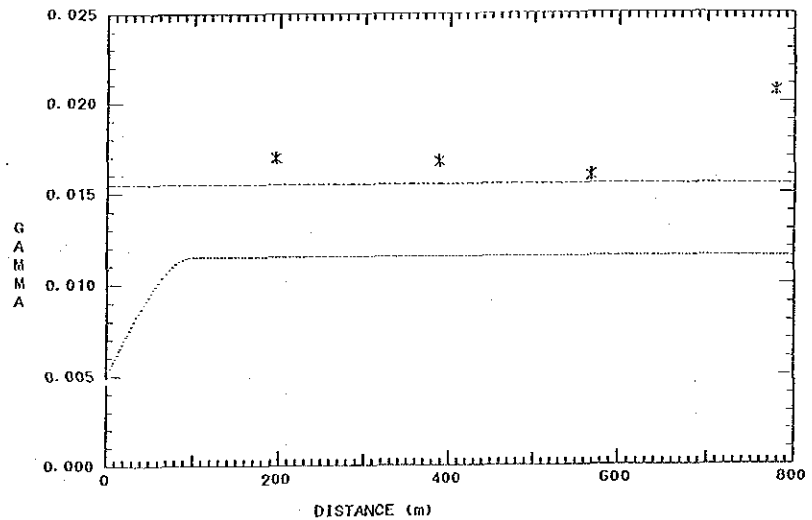


図1-15 Eq・Cu品位のパリオグラム

(3) ボーリングパターンの設定と品位推定誤差

既に 200m 格子のボーリングが実施済みであり、今後の追加ボーリングはこのパターンを踏襲することになるので、今回の検討では下記の 4 パターンを設定した。

	ボーリング総数	追加ボーリング数
パターン1 200 m 格子ボーリング (現状)	$\alpha$	0
パターン2 現状中心点に追加ボーリング	$2\alpha$	$\alpha$
パターン3 短軸方向断面中間点に追加ボーリング	$2\alpha$	$\alpha$
パターン4 100 m 格子ボーリング	$4\alpha$	$3\alpha$

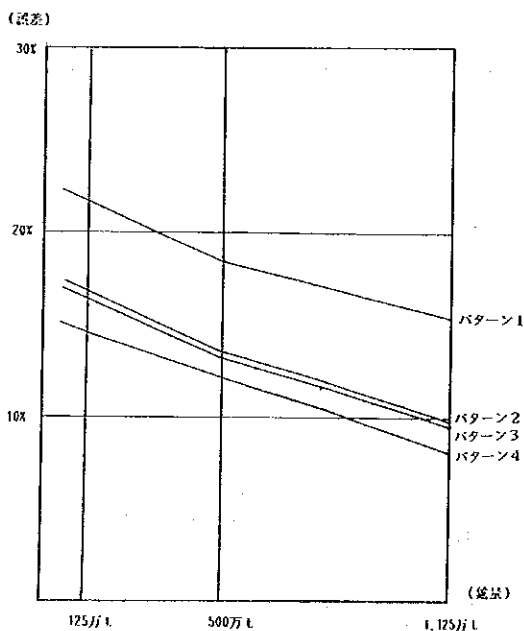
	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	
↑ 長軸方向	• • •	• • •	• × • × •	• × • × •	• 既ボーリング × 追加ボーリング
	• • •	× ×	• × • × •	× × × × ×	
	• • •	• • •	• × • × •	• × • × •	
	• • •	× ×	• × • × •	× × × × ×	
→ 短軸方向	• • •	• • •	• × • × •	• × • × •	
				← 400m →	

本鉱床の鉱体規模から、次のようなケースについて年間出鉱量見合分のブロックの誤差がどの程度であるかをパターン別にクリッキング法により検討した。

	長軸方向	短軸方向	垂直方向	年間出鉱量	1日当り出鉱量
①	200m	200m	50m	5,000,000t/y	14,300t/d
②	300m	300m	50m	11,000,000t/y	32,100t/d

(比重2.5, 350日/年 稼働と仮定)

計算を単純化するため、各ボーリング資料は 100mごとに1点あるものとし、取り込み範囲はレンジの2倍とし、出鉱ブロックの中とその周縁のボーリングデータのみを使って誤差計算を行った。



	推定誤差 (%)	
	年間 500万 t	年間 1,125万 t
パターン1	18.4	15.5
パターン2	13.6	9.8
パターン3	13.2	9.5
パターン4	12.1	8.2

図1-16 誤差-鉱量関係図

500万t～1,125万t程度の年間出鉱量であれば、現状の200m格子のままでは18～16%の誤差があり、誤差が13～10%となるパターン2、3程度の追加ボーリングは必要である。パターン4の追加試錐は、パターン2、3の3倍のボーリングを実施しながら、精度はそれ程上昇しないという結果から見て、現状段階で100m格子の追加ボーリングは早計と考える。クリッキング法によって求められた誤差はバリオグラムから得られたパラメータが鉱床の状況をよく表していれば、正確な数値といえるが、初期段階の少ないボーリング資料から正確なバリオグラムが得られることはむしろまれで、追加ボーリング資料の増加により、より正確なバリオグラムが得られるようになる。今回検討したボーリング資料だけでは不十分であり、追加ボーリング終了後に再度バリオグラム・クリッキングの検討をする必要があると考える。

#### (4) 最適ボーリング間隔・パターン・深度の選定

追加ボーリング間隔・パターンはより少ない本数で効果の上がるパターン3（短軸方向、N42°W方向格子の中間点での追加ボーリング）で実施することを提案した。

パターン2（格子中心点での追加ボーリング）でもパターン3とほぼ同等の効果が上がることが期待されるが、下記3つの理由からパターン2よりパターン3の方が、より有効と考えた。

- ① パターン3の方が誤差が小さい。
- ② パターン3の追加ボーリングの方がより正確な地質・鉱床断面図が得られる。
- ③ 最短ボーリング間隔はパターン3では100m、パターン2では $100\sqrt{2}$ mであり、その間隔がより短いパターン3の方がよりよりバリオグラムが得られる可能性がある。

ボーリング深度については、すでに実施されている200m格子ボーリングにより、鉱床形態がほぼ判明しているため、各追加孔の深度は短軸方向断面図により決めるのが適切であり、最深度孔は鉱量的に見てこれまでの550mで充分である。

#### (5) 最適分析間隔の選定

入手資料では分析間隔が2mのもの及び2m以下のものが多い。一般に低品位斑岩型Cu, Mo鉱床の場合の分析間隔は、コア実収率がよく、かつ正確な試料採取が行われれば、分析間隔をかなり大きくしても問題はなく、分析間隔は一般に10フィート（3.05m）のことが多い。

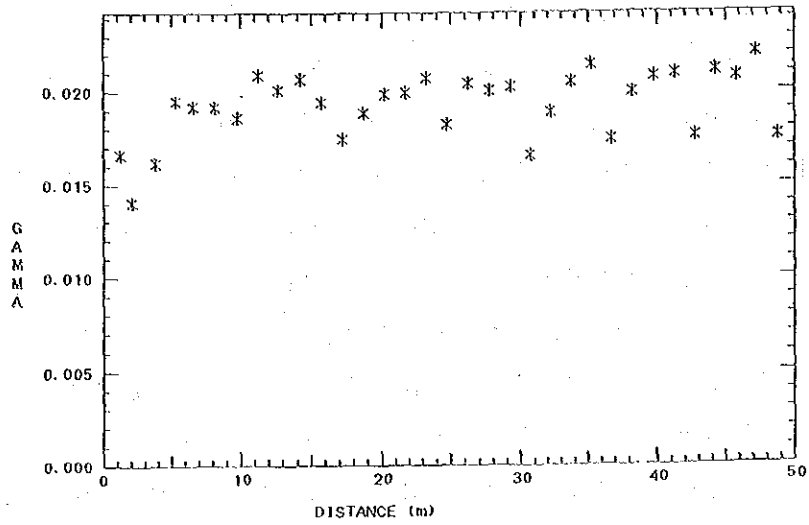
そこで近距離での変動は少なく、分析間隔は長くてもよいという結果を期待して全分析試料による0～50m間のCu, Mo品位のバリオグラムを作成したが、予想に反して、0～50m間の変動にあまり差は見られなかった。Cuは分散値よりかなり低い、Moはすでに分散に達しており、Mo品位の変動の大きいことをここでも示している。

さらにバリオグラムは小刻みの変動をしながら、高いシルを保っているため、一般的な3mよりもやや間隔を狭めた2mが適当と考える。



## Cu 品位

Item - Cu(%)  
 Number of data - 8509  
 Step - 1.5  
 Dip - 90.0  
 Azimuth - 0.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.18026  
 Variance - 0.03611



## Mo 品位

Item - Mo(X)  
 Number of data - 8509  
 Step - 1.5  
 Dip - 90.0  
 Azimuth - 0.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.03477  
 Variance - 0.00143

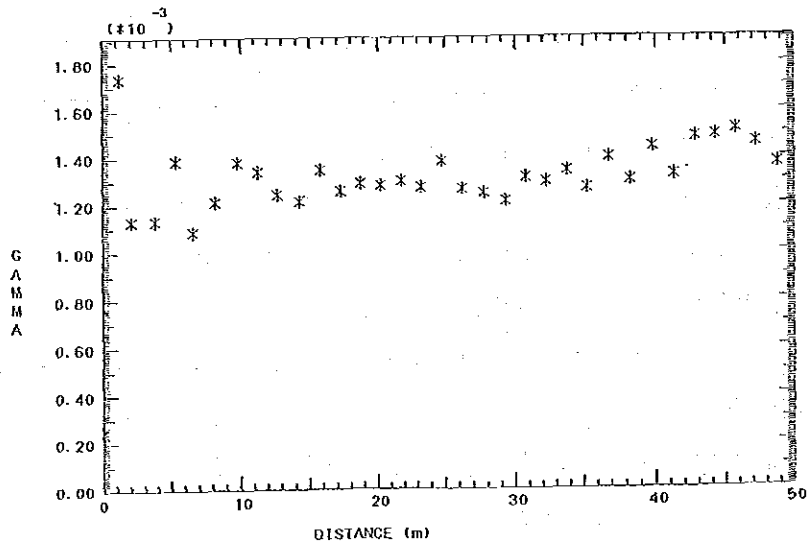


図1-17 全分析資料による分析品位バリオグラム

### (6) まとめ

鳥奴格吐山区域の既存ボーリング試料をクリッキング法主体の地質統計学的手法を用いて、最適追加ボーリング方法を検討した。その結果、追加ボーリングは既存の200m格子のうち、鉱床短軸方向格子の中間点で垂直に実施することが有効であるとの結論を得た。なお、最適深度は短軸方向断面図より決めることが適切で、分析コア長は2mが適当と考えた。

#### 1.4.2 第4年次ボーリング調査結果の検討

既存ボーリング資料の地質統計学的手法による検討に基づき、第4年次のボーリング調査は北鉱床の短軸方向に100m格子となるように深掘りボーリング31本、13,464.66m（深度200.05m～551.25m、平均434.34m）を実施した。このうち鉱体縁辺部の4本は75°傾斜孔で、そのほかは垂直孔であった。さらに北鉱床地表近くの酸化帯、二次富化帯の区分・分布などの確認のため

浅掘りボーリング44本, 2,547.90m (平均 57.90m) も実施された。そのほか, 既存ボーリング資料調査も行った。その結果, 1.4.1項の既存資料に加え, 新たに次の資料が追加されると共に, 既存資料の正誤訂正を行い, 北鉱床についてバリオグラム・クリッキング法により検討を行った。

(1) 追加検討資料

① 北鉱床第4年次ボーリング

深掘り31本 (520-1, 540-1~2, 560-1~3, 580-1~3, 620-1~6, 640-1~7, 660-1~5, 680-1~4)

浅掘り44本 (C7~14, C26~36, C52~75, QK6)

合計75本の分析資料: 分析試料件数8,051

② 北鉱床既存ボーリング41本 (ZK4~6, 11~30, 32~45, 49~51, 62) の低品位部分析資料: 分析試料件数4,619

③ 北鉱床ボーリングの地質資料 (岩石区分, 酸化度, 変質区分など)

(2) バリオグラムの検討とクリッキングパラメータ

① 垂直方向バリオグラムの検討: 北鉱床の地質資料より, 地表下には上位から表層堆積物-溶脱帯-酸化帯-二次硫化物富化帯が存在し, 地表付近の品位は初生鉱化に関係のない二次富化作用の影響があることが判明したので, 酸化帯, 二次硫化物富化帯を除いた初生帯だけの分析品位を対象にして北鉱床でのバリオグラムの検討を行った。検討基礎資料は, 前回の第4年次ボーリング計画時同様, 15m加重平均のCu換算品位 ( $E_{q. Cu} \% = Cu \% + 2.5Mo \%$ ) を使用した。

図1-18に初生帯のCu品位, Mo品位,  $E_{q. Cu}$ 品位の垂直方向のバリオグラムを示した。Mo品位のバリオグラムが前回に比べ格段に平滑化されたのは, Mo高品位部の存在する測線G660上での追加ボーリングが増したことで, 前回誤って入力されていたMo高品位分析値の修正が主原因と思われる。初生帯の $E_{q. Cu}$ 品位の垂直方向のバリオグラムのパラメータを前回検討結果のそれと併記すると下記ようになる。

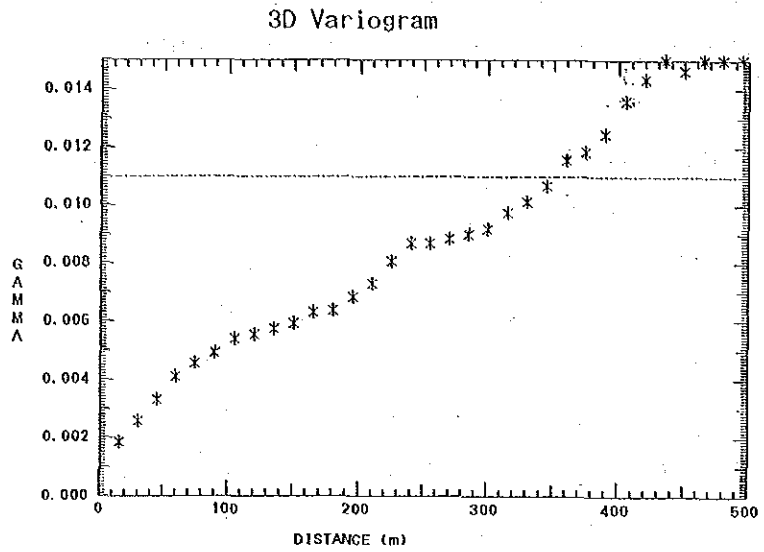
	ナゲット (Co)	シル (C+Co)	レンジ (a)
今回 (1990年)	0.0017	0.0086	170
前回 (1989年)	0.0050	0.0115	145

今回の結果は前回に比べ, ナゲット (Co), シル (C+Co), ナゲット-シル比 ( $Co/C+Co$ ) の減少, レンジ (a) の増大が認められたので, クリッキング法による推定誤差が前回検討結果より向上することが予想され, これらパラメータの変化をもたらした主原因としては以下のことが挙げられる。

- ・低品位部の分析品位の入手
- ・初生鉱化とほとんど関係のない酸化帯・二次硫化物富化帯の分析品位の排除
- ・100 m間隔追加ボーリングによる類似品位分布パターンを示すボーリングの増加
- ・断層で分割された南鉱床を除いた北鉱床ボーリングのみの検討
- ・前回入手分析値の見直し

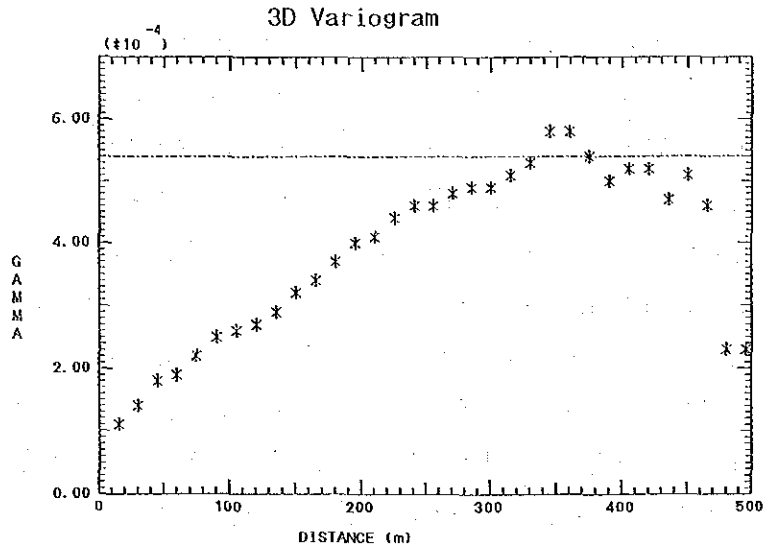
Cu 品位

Zone - P  
 Item - Cu(%)  
 Number of data - 1722  
 Step - 15.0  
 Dip - 90.0  
 Azimuth - 0.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.12197  
 Variance - 0.01100  
 Variogram :  
 C1- 0.00000 A1- 170.000



Mo 品位

Zone - P  
 Item - Mo(%)  
 Number of data - 1722  
 Step - 15.0  
 Dip - 90.0  
 Azimuth - 0.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.02163  
 Variance - 0.00054  
 Variogram :  
 C1- 0.00000 A1- 170.000



Eq. Cu 品位

Zone - P  
 Item - Eq. Cu(%)  
 Number of data - 1722  
 Step - 15.0  
 Dip - 90.0  
 Azimuth - 0.0  
 Tolerance - 5.0  
 Variable :  
 Average - 0.19105  
 Variance - 0.01384  
 Variogram :  
 C0- 0.00170 A0- 0.000  
 C1- 0.00590 A1- 170.000

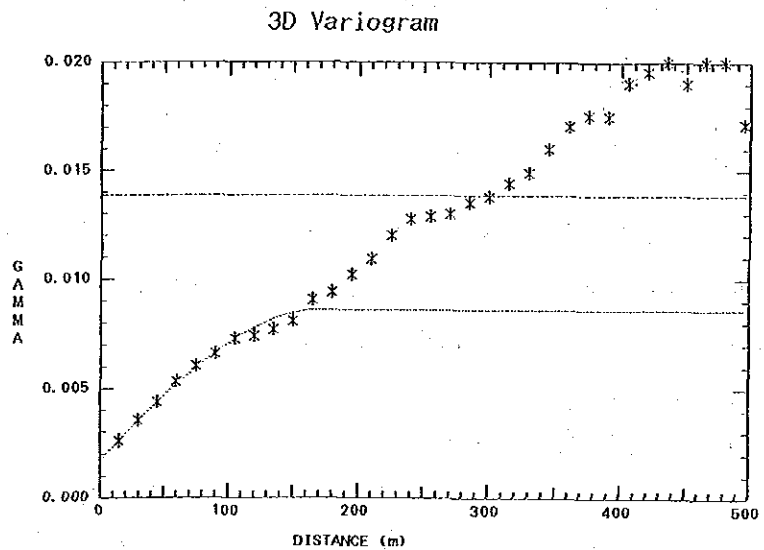


図1-18 垂直方向のバリオグラム (1990年)

② 水平方向バリオグラムの検討：前項で述べたように、本鉱床のような斑岩型鉱床の水平方向の有効なバリオグラムを得ることは非常に難しい。今回は 100m間隔ボーリングデータが加わったので、再度水平方向のバリオグラムの検討を種々行って見たが、やはり有効なバリオグラムは得難く、前回と同様に、鉱体の規模・形態を考慮して、垂直方向のレンジ 170mから水平方向のレンジを求めた結果、短軸方向は 117m、長軸方向は 785mとなった。3方向のバリオグラムのパラメータをまとめると以下の通りである（（ ）内は1989年検討結果）。

	ナゲット (Co)	シル (C + Co)	レンジ (a)
水平短軸方向	0.0017(0.0050)	0.0086(0.0115)	117(100)
水平長軸方向	0.0017(0.0050)	0.0086(0.0115)	785(670)
垂直方向	0.0017(0.0050)	0.0086(0.0115)	170(145)

### (3) クリッキング法による推定誤差の検討

前記バリオグラムのパラメータを用い、前回と全く同様のパターン1～4での年間出鉱量見合分の推定誤差をクリッキング法で求めると、以下の通りとなる。鉱石比重は、ボーリングコアについて、現地でのバネバカリを用いた湿式測定では2.59(123試料)、室内測定では2.62(44試料)であったので、2.6を採用した(資料5)。前回比重は2.5と仮定したが、今回は比重測定結果2.6を用いたので、同一ブロック内鉱量は前回数値と若干異なるが、検討への影響は無視できる。( )内は1989年検討結果。

	パターン1 200m格子	パターン2 中心に追加	パターン3 短軸方向追加	パターン4 100m格子
① 130万t/y(3.7千t/d)	20.1%	13.6%	13.3%	12.1%
② 520万t/y(14.9千t/d)	16.3%(18.4)	11.0%(13.6)	10.8%(13.2)	10.0%(12.1)
③ 1,170万t/y(33.4千t/d)	13.0%(15.5)	7.1%(9.8)	7.0%(9.5)	6.1%(8.2)

北鉱床で今年度実施したパターン3での追加ボーリングにより、15～33千t/d程度の年間出鉱量の品位誤差は10.8%～7.0%と見込まれることになる。また、北鉱床でこれまでに実施したボーリングと同数の追加を行い、100m格子ボーリングにしたとしても、誤差は10.0%～6.1%にしか向上しないという結果となった。従って北鉱床での追加ボーリングの効果は極めて低いと考えられる。

### (4) まとめ

地質統計学的手法(バリオグラム-クリッキング法)の検討に基づき、第4年次ボーリング調査は北鉱床の短軸方向に100m間隔となるように追加ボーリングを行い、新たな検討資料を得た。

さらに、既存ボーリングについても低品位部の分析値、地質情報を入手し、前回入手資料を充実・訂正した。これら資料を再びバリオグラム-クリッキング法で解析し、前回結果との比較、今後のボーリングについて検討した。

その結果、第4年次の短軸方向への100m間隔の追加ボーリングは極めて有効で、バリオグラムが改善され、クリッキング法による推定誤差が前回の13.2%～9.5%から今回の10.8%～7.0%へ向上することが判明した。今後、さらにボーリングを追加して100m格子にしたとしても、推定誤差は10.0～6.1%にしか向上しないので、北鉱床での追加ボーリングの効果は極めて低いことが示された。