

ロシア南部－中部ウラル地域、シルル－デボン系 火山性塊状硫化物鉱床の鉱物組合せと鉱石化学組成の特徴

藤岡信成¹、石山大三¹、水田敏夫¹、世良耕一郎²、Maslennikov, V. V.³

¹秋田大学工学資源学部
010-8502 秋田市手形学園町 1-1

²岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村字留が森 348-58

³ロシア科学アカデミーウラル支部
456301 ロシア チェリアビンスク ミアス

1 はじめに

ロシアの鉱物資源の埋蔵量は多く、主な鉱物資源は、鉄、銅、亜鉛、ニッケル、アルミニウム、金である。ロシアの首都モスクワから東に約 1000km 離れたウラル山脈の南部及び中部 (Fig. 1) は、ロシア中でも重要な鉱物資源の生産地域一つである。この地域は古生代ウラル造山運動に伴い、シルル紀～デボン紀に形成された海底熱水鉱床（火山性塊状硫化物鉱床：volcanogenic massive sulfide deposits）が多数存在する（Herrington et al., 2005）。この地域には現在、100 を超える火山性塊状硫化物鉱床が発見されており、我が国最大の松峰鉱床（埋蔵量 3000 万トン）を超える大規模鉱床もいくつか存在する。

本地域の鉱床タイプには Ural 型、Baimak 型、

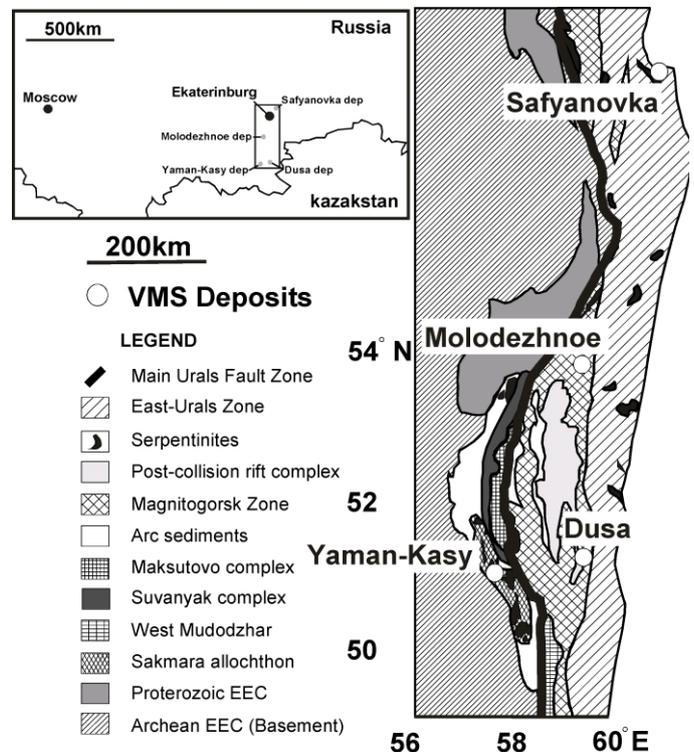


Fig. 1 Simplified geological map of South and Middle Urals (modified from Herrington et al., 2005).

キプロス型、別子型の4つのタイプが確認されている。本研究では秋田県北鹿地域黒鉱鉱床と同様にデイサイト、流紋岩等の珪長質火山岩溶岩を母岩とするとされる (Herrington et al., 2005, Fig. 2) Ural 型、Baimak 型鉱床を研究対象とした。Baimak 型鉱床については黒鉱鉱床と同タイプとする見解 (Herrington et al, 2005) と、微量成分の含有量から異なるタイプとする見解 (Glasby et al, 2008) がある。

Ural 型鉱床は、黄銅鉱、閃亜鉛鉱を主体とした鉱石鉱物組合せを持ち、その化学組成は Cu-Zn で特徴づけられる。一方、Baimak 型鉱床は、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石を主体とし、化学組成は Cu-Zn (-Pb) -Ba で特徴づけられる (Table 1 ; Prokin and Buslaev, 1999) 。後者は、日本の北鹿地域黒鉱鉱床と類似した鉱物組合せを持つとされている (Table 1 ; Prokin and Buslaev, 1999) 。

火山性塊状硫化物鉱床はこれまで母岩の性質 (Klau and Large, 1980) 、鉱床中の主要金属成分 (Hutchinson, 1973) 、構造場 (Sawkins, 1976) などの特徴を基に分類されてきた。本研究では Ural 型、Baimak 型鉱床と黒鉱鉱床の類似、相違点を明らかにするために、これら火山性塊状硫化物鉱床の鉱石の特徴、鉱物組合せ、PIXE 法、AAS 法による鉱石の Cu-Zn-Pb の含有量に基づき、特徴を検討した。

Table 1. Type of volcanogenic massive sulfide deposits in Urals (modified from Prokin and Buslaev, 1999; Matsukuma and Horikoshi, 1970).

Type of deposits	Tectonic setting	Host rocks	Major elements	Ore minerals	Accessory minerals
Ural-type	Back-arc and intra-arc basin	Rhyolite-Basalt	Cu-Zn	pyrite chalcopyrite sphalerite marcasite pyrrhotite bornite	tennantite galena magnetite hematite electrum
Baimak-type	Island arcs	Dacite-Andesite	Cu-Zn (-Pb) -Ba	pyrite chalcopyrite sphalerite galena barite	tennantite bornite arsenopyrite argentite germanite jalpalite electrum
Kuroko-type	Back arc	Rhyolite-Basalt	Cu-Zn-Pb-Ag-Ba	pyrite chalcopyrite sphalerite galena barite	tetrahedrite bornite electrum

2 地質・鉱床概説

研究対象とした鉱床は、Sakumara 異地性地塊地域シルル紀後期に形成された Yaman-Kasy 鉱床 (Ural 型)、Magnitgorsk 海洋島弧地域デボン紀中期に形成された Dusa 鉱床 (Baimak 型)、Molodezhnoe 鉱床 (Ural 型)、東部ウラル地域デボン紀中期～後期に形成された Safyanovka 鉱床 (Baimak 型) の4鉱床である (Figs. 1 & 2) 。Ural 型、Baimak 型鉱床は黒鉱鉱床と同様にバイモーダルな火山活動に伴うデイサイト、流

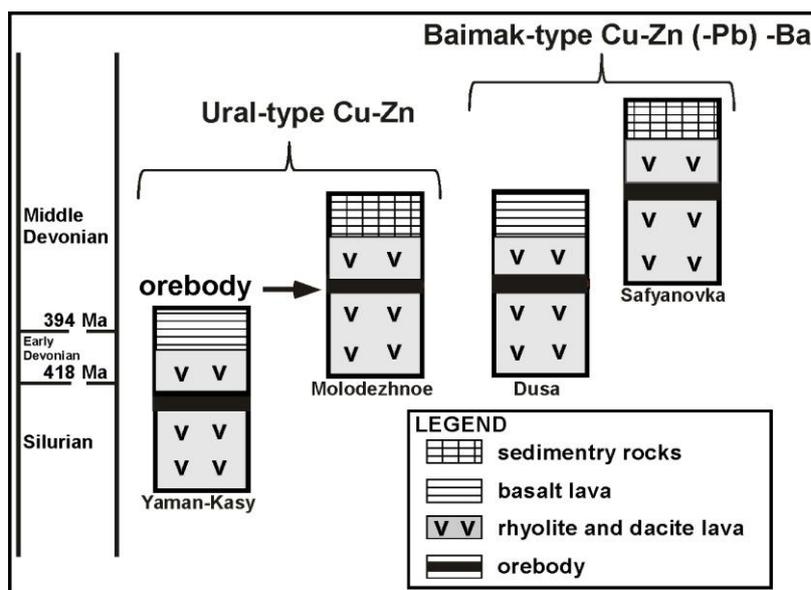


Fig. 2 Simplified stratigraphic columns for the Yaman-Kasy, Molodezhnoe, Dusa and Safyanovka volcanogenic massive sulfide

紋岩等の珪長質火山岩類を母岩とする (Herrington et al, 2005, Fig. 2)。

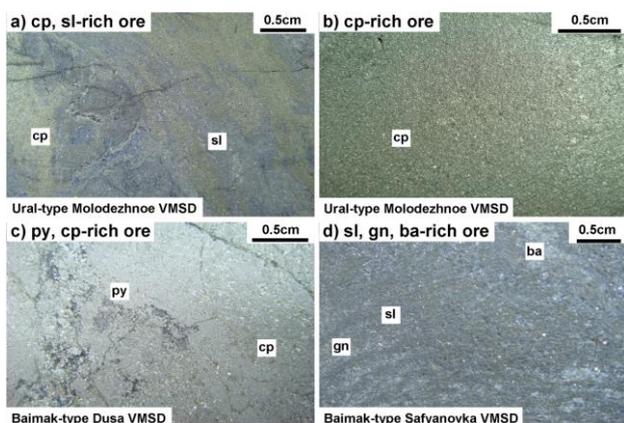


Fig. 3 Representative ores of the Molodezhnoe Dusa and Safyanovka volcanogenic massive sulfide deposits. a) cp-sl-rich ore, ; b) cp-rich ore, ; c) py-cp-rich ore, ; d) sl-gn-ba-rich ore. py : pyrite, cp : chalcopyrite, sl : sphalerite, gn : galena, ba :

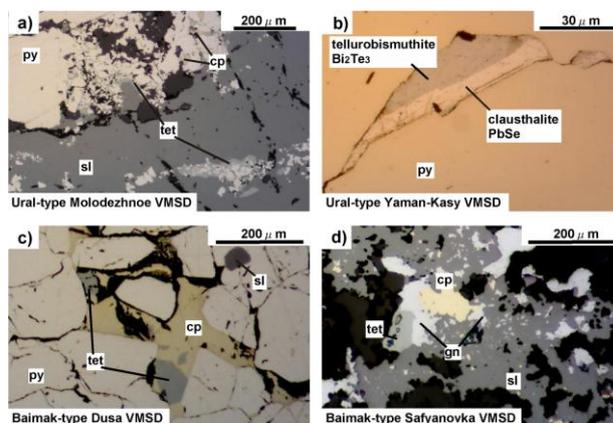


Fig. 4 Photomicrographs of ore minerals of the Yaman-Kasy, Molodezhnoe, Dusa and Safyanovka volcanogenic massive sulfide deposits. a) cp-sl-rich ore, ; b) py-rich ore. Tellurobismuthite and clausenthalite occur in the

3 鉱石の特徴

Yaman-Kasy 鉱床 (Ural 型) は、黄銅鉱、閃亜鉛鉱に富む鉱石を主要鉱石とする。本鉱床では他のタイプの火山性塊状硫化物鉱床には認められない磁鉄鉱に富む鉱石も産出する。Molodezhnoe 鉱床 (Ural 型) の主要鉱石は黄銅鉱、閃亜鉛鉱であるが、一部には黄銅鉱、閃亜鉛鉱に富む鉱石に少量の重晶石を含むもの (Fig. 3a) もある。また、黄銅鉱に富む鉱石 (Fig. 3b)、斑銅鉱に富む鉱石も産出する。Dusa 鉱床 (Baimak 型) の主要鉱石は、黄銅鉱を主体とした鉱石 (Fig. 3c) である。Safyanovka 鉱床では主要鉱石として黄銅鉱、閃亜鉛鉱に富む鉱石、黄銅鉱に富む鉱石を産出する。本鉱床では黒鉱型鉱床の狭義の黒鉱鉱石に類似した閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石が主体となった鉱石 (Fig. 3d) も少量産出する特徴をもつ。Safyanovka 鉱床では累帯配列が認められ、鉱体下部では黄銅鉱に富む鉱石が、鉱体上部では黄銅鉱、閃亜鉛鉱に富む鉱石が産出する。さらに最上部において黒鉱類似鉱石が少量産出する。このような累帯配列は黒鉱鉱床の珪鉱、黄鉱、黒鉱の累帯配列に類似する。

4 鉱石鉱物組合せ

本研究では黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石の存在量に着目し、Ural 型、Baimak 型、黒鉱型各火山性塊状硫化物鉱床の鉱物組合せを検討した (Table 2)。

4.1 Ural 型 VMSD—鉱物組合せ

Yaman-Kasy 鉱床の鉱石は、黄鉄鉱>黄銅鉱>閃亜鉛鉱>四面銅鉱の鉱物組合せで特徴づけられる。また、黄鉄鉱>磁鉄鉱の鉱物組合せを持つ鉱石も産出する。少量だが、黄鉄鉱の中にテルル蒼鉛鉱、セ

レン鉛鉱 (Fig. 4b) を随伴する。本鉱床では方鉛鉱、重晶石は認められない。Molodezhnoe 鉱床は、黄鉄鉱>黄銅鉱>閃亜鉛鉱>四面銅鉱 (Fig. 4a) の鉱物組合せで特徴づけられる。黄銅鉱に富む鉱石、斑銅鉱に富む鉱石も産出し、銅に富む特徴がある。また黄銅鉱に富む鉱石に極少量のセレン鉛鉱が、また黄鉄鉱>黄銅鉱>閃亜鉛鉱>四面銅鉱の鉱物組合せで特徴づけられる鉱石には極少量の方鉛鉱、重晶石が認められる。

Table 2. Mineral assemblage from the Yaman-Kasy, Molodezhnoe, Dusa, Safyanovka and Koroko volcanogenic massive sulfide deposits (Matsukuma and Horikoshi, 1970).

Type of deposits	Deposits	Type of ores	pyrite	arsenopyrite	chalcopyrite	bornite	covellite	tetrahedrite/ tennantite	sphalerite	galena	claushalite	tellurobismuthite	magnetite	hematite	electrum	quartz	barite	
Ural-type	Yaman-Kasy	py, cp, hm - rich ore	⊙		○				△					△				
		py, cp, mag - rich ore	⊙		△							—	—	⊙				
		py, cp, sl - rich ore	⊙		○				△	⊙								
	Molodezhnoe	py, cp, sl - rich ore	○		⊙				△	⊙	—							△
		py - rich ore	⊙		△										△			
		cp - rich ore	—		⊙							—						
Baimak-type	Dusa	py, cp - rich ore	⊙	—	⊙			—	△									
	Safyanovka	py, cp, sl - rich ore	○		⊙				△	⊙	△							
		py - rich ore	⊙		△													
		cp - rich ore	—		⊙		—											
		sl, gn, ba - rich ore	—		△				○	⊙	○							⊙
Kuroko-type	Kuroko deposits	py - rich ore	○		○											⊙		
	district in	py, cp - rich ore	⊙		⊙			—	△							—	△	
	Hokuroku	sl, gn, ba - rich ore	—			△		○	⊙	○					△		⊙	

Ural 型火山性塊状硫化物鉱床は多量の黄銅鉱、閃亜鉛鉱に富む鉱石で特徴づけられる。そして、黒鉱鉱石に含まれる方鉛鉱、重晶石は欠如したり、存在してもその量は極めて少ない。また存在量は少量であるが、Ural 型鉱床では方鉛鉱に代わりにセレン鉛鉱を伴う。

4.2 Baimak 型 VMSD—鉱石の特徴

Dusa 鉱床の鉱石は黄鉄鉱>黄銅鉱>>閃亜鉛鉱>四面銅鉱の鉱物組合せで特徴づけられる (Fig. 4c)。本鉱床では閃亜鉛鉱と四面銅鉱の含有量は低く、方鉛鉱、重晶石は認められない。Dusa 鉱床の鉱物組合せの特徴は、Ural 型鉱床に類似した鉱物組合せを持つ。一方、Safyanovka 鉱床の主要鉱石は黄鉄鉱>黄銅鉱>閃亜鉛鉱>四面銅鉱の鉱物組合せを持つ。また黄銅鉱に富む鉱石も産出する。黒鉱鉱床に類似する閃亜鉛鉱>方鉛鉱>四面銅鉱>重晶石の鉱物組合せを持つ鉱石 (Fig. 4d) も少量産出する。

各鉱床の鉱物組合せからは、Yaman-Kasy 鉱床、Molodezhnoe 鉱床、Dusa 鉱床を黄鉄鉱>黄銅鉱>閃亜鉛鉱>四面銅鉱の鉱物組合せで特徴づけられる鉱石を主とする鉱床として、同一タイプしてとしてまとめることができる。Safyanovka 鉱床は上記の3鉱床と同様な鉱石を伴うが、黒鉱類似鉱石を随伴することを考慮すると、別のタイプであると考えられる。しかし、黒鉱鉱床と比較すると、Safyanovka 鉱床

に産する黒鉛鉱石は少量であり、黒鉛鉱床とも異なる可能性がある。

5 鉛鉱石の化学組成

5.1 試料調製法および測定法

主要鉛鉱石構成元素の定量分析は、岩手医科大学サイクロトロンセンターの PIXE (Particle Induced X-Ray Emission)、秋田大学工学資源学部現有の原子吸光装置 (Atomic Absorption Spectrometry, AAS) を用いて行われた。Fe、Cu、含有量は AAS 法を用い、Zn、Pb 含有量は PIXE 法をそれぞれ用い分析を行った (Table 3)。PIXE 法試料作成には鉄鉢で粗砕きした試料をメノウ乳鉢でさらに細かく粉末化した。その粉末試料をコロジオン (5%) 溶液でポリプロピレンフィルムに固定し、分析を行った。

5.2 主要鉛鉱石構成元素—分析結果

Yaman-Kasy 鉛鉱床の鉛鉱石は、黄鉄鉛、黄銅鉛に富む鉛鉱石、閃亜鉛鉛に富む鉛鉱石、黄銅鉛、閃亜鉛鉛に富む鉛鉱石を分析した (Fig. 5a)。本鉛鉱床の鉛鉱石は、Cu、Zn に富み、代表的な黒鉛鉛鉱石化学組成領域とは異なり、Pb に乏しい。Molodezhnoe 鉛鉱床の鉛鉱石は、黄銅鉛に富む鉛鉱石、斑銅鉛に富む鉛鉱石、黄銅鉛、閃亜鉛鉛に富む鉛鉱石を分析した (Fig. 5a)。本鉛鉱床の鉛鉱石は、Yaman-Kasy 鉛鉱床同様、Cu、Zn に富み、Pb に乏しい。Dusa 鉛鉱床の鉛鉱石は黄鉄鉛、黄銅鉛に富む鉛鉱石を分析した (Fig. 5b)。本鉛鉱床の鉛鉱石も、Cu に富み、Zn、Pb に乏しい。Safyanovka

鉛鉱床の鉛鉱石は、黄銅鉛に富む鉛鉱石、黄鉄鉛、黄銅鉛に富む鉛鉱石、閃亜鉛鉛、方鉛鉛、重晶石に富む黒鉛類似鉛鉱石を分析した (Fig. 5b)。本鉛鉱床の鉛鉱石は、Cu、Zn に富み、Pb に乏しい鉛鉱石と Zn、Pb に富む鉛鉱石に分けられる。Zn、Pb に富む鉛鉱石は黒鉛鉛鉱石の代表的化学組成領域にプロットされる。

これらのことをまとめると、次のようになる。Ural 型の Yaman-Kasy 鉛鉱床、Molodezhnoe 鉛鉱床 の鉛鉱石は Cu-Zn、または Cu で特徴づけられ、日本の黒鉛鉛鉱床と比較して Pb が低い特徴を持つ。Baimak 型の Dusa 鉛鉱床の鉛鉱石も Cu に富む特徴を持つ。しかし、同タイプとされる Safyanovka 鉛鉱床の主要部は、Ural 型同様に Cu-Zn で特徴づけられるが、鉛鉱床の最上部には Zn-Pb に富む鉛鉱石が存在する。Yaman-Kasy 鉛鉱床、Molodezhnoe 鉛鉱床、Dusa 鉛鉱床は Cu、Cu-Zn で特徴づけられる。Safyanovka 鉛鉱床は Cu-Zn に富む鉛鉱石に加え、Zn-Pb に富む鉛鉱石を産出する点で Yaman-Kasy 等の鉛鉱床とは異なる可能性がある。

Table 3. Chemical compositions of ore samples from the Yaman-Kasy, Molodezhnoe, Dusa and Safyanovka volcanogenic massive sulfide deposits.

Elements (W%)	Fe	Cu	Zn	Pb
Yaman-Kasy VMSD				
A10	32.7	6.1	10.3	0.5
A11	35.4	2.9	14.5	1.1
A22	32.7	8.1	0.1	0.5
Dusa VMSD				
A50	39.1	5.4	0.1	0.8
A53	32.8	11.0	0.7	0.2
A56	41.7	4.4	0.3	0.5
Molodezhnoe VMSD				
A107	19.3	3.3	0.0	0.7
A112	22.8	1.1	32.3	1.3
A113	29.9	35.1	0.1	0.1
A115	25.1	11.9	16.9	1.7
A119	14.8	53.4	1.3	11.5
Safyanovka VMSD				
A167	1.1	1.1	18.2	11.6
A168	34.3	4.3	1.6	0.8
A172	29.2	35.3	0.0	0.0
A176	37.3	8.1	0.7	0.7

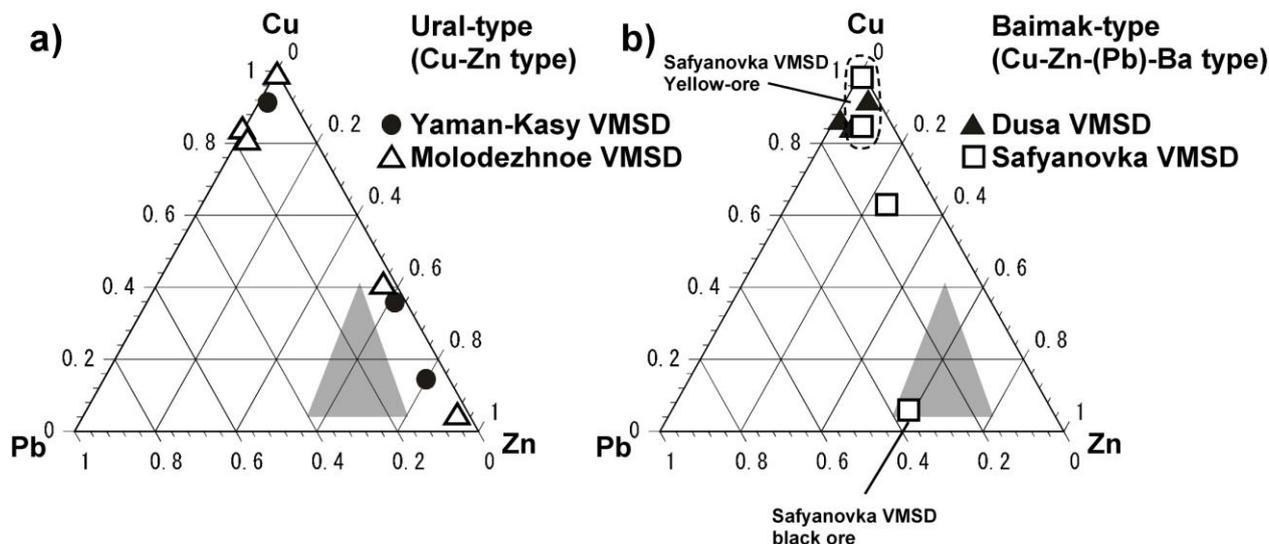


Fig 5. Cu-Zn-Pb ternary diagrams of the volcanogenic massive sulfide deposits, Ural-, Baimak- and Kuroko-type ores. Shadow area: representative chemical composition of Kuroko ores (modified from Kajiwara, 1996).

6 まとめ

本研究では Ural 型火山性塊状硫化物鉱床である Yaman-Kasy 鉱床、Molodezhnoe 鉱床、Baimak 型火山性塊状硫化物鉱床である Dusa 鉱床、Safyanovka 鉱床について鉱石の肉眼的特徴、鉱物組合せ、主要鉱石構成元素を検討した。鉱石の肉眼的特徴と鉱物組合せ、主要鉱石元素含有量からは、Yaman-Kasy 鉱床、Molodezhnoe 鉱床、Dusa 鉱床は類似する可能性がある。Safyanovka 鉱床は上記の 3 鉱床と類似した鉱石を産出するが、黒鉱類似鉱石を産出することから、Ural 型火山性塊状硫化物鉱床とは異なる。しかし、Safyanovka 鉱床は黒鉱類似鉱石の産出が少ないことから、黒鉱型火山性塊状硫化物鉱床とも異なる可能性がある。

今回検討した南部及び、中部ウラル鉱床地域には Cu、Cu-Zn で特徴づけられる火山性塊状硫化物鉱床が多く存在し、Cu-Zn-Pb-Ba-Ag で特徴づけられるような黒鉱型火山性塊状硫化物鉱床は少ないと思われる。デイサイト、流紋岩等の珪長質火山岩類を母岩した火山性塊状硫化物鉱床は、Cu-Zn-Pb で特徴づけられることが多いが、調査地域の鉱床群は Cu、Zn に富み Pb の含有量が極めて低いことから、母岩はと鉱床タイプの関係をさらに検討する必要がある。

文 献

- 1) Glasby, G. P., Prozherova, I. A., Maslennikov, V. V. and Petukhov, S. I. (2007) Jusa and Barsuchi Log Volcanogenic Massive Sulfide Deposits from the Southern Urals of Russia : Tectonic Setting, Structure and Mode of Formation. Res. Geol., 57, 24-36.

- 2) Herrington, R. j., Zaykov, V. V., Maslennikov, V. V., Brown, D. and Puchkov, V. N. (2005) Mineral Deposits of the Urals and Links to Geodynamic Evolution. *Econ. Geol.*, 100, 1069-1095.
- 3) Hutghinson, R. W. (1973) Volcanic sulfide deposits and their metallogenic significance. *Econ. Geol.*, 68, 1223-1246.
- 4) 梶原良道. (1996) 大洋中央海嶺の熱水噴気孔鉱床－深海熱水生態系に咲く徒花, *地質ニュース*, no. 497, 34-45.
- 5) Klau, W. and Large, D. E. (1980) Submarine exhalative Cu-Pb-Zn deposits, a discussion of their classification and metallogenesis. *Geol. Jahrb., Sect. D*, no. 40, 13-58.
- 6) Matsukuma, T. and Horikoshi, E. (1970) Kuroko Deposits in Japan, a Review, *Volcanism and Ore Genesis*, university of Tokyo press. 153-179.
- 7) Prokin, V.A and Buslaev, F. P (1999) Massive copper-zinc sulfide deposits in the Urals. *Ore Geol. Rev.*, 14, 1-69.
- 8) Sawkins, F. J. (1976) Massive sulfide deposits in relation to geotectonics. *Geol. Assoc. Canada, Spec. Paper* 14, 221-240.

Characteristic features of ores and mineral assemblage of Silurian-Devonian volcanogenic massive sulfide deposits in South and Middle Urals, Russia

Nobunari Fujioka¹, Daizo Ishiyama¹, Toshio Mizuta¹
Koichiro Sera² and V. V. Maslennikov³

¹Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University
1-1 Gakuen-Machi, Tegata, Akita 010-8502, Japan

²Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori Takizawa, 020-0173, Japan

³Institute of Mineralogy, Ural Branch, Russia Academy of Science
456301 Miass, Chelyabinsk District, Russia

Abstract

The volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits in South and Middle Urals are divided into Cyprus, Bessi, Baimak-, and Ural-types volcanogenic massive sulfide deposits. The aim of study is to clarify characteristic features of ores of the VMS deposits (Yaman-Kasy, Molodezhnoe, Dusa and Safyanovka deposits) in South and Middle Urals based on data of minerals assemblage and chemical compositions of ores. The chemical compositions of ores of Ural- and Baimak-type VMS deposits were characterized by high Fe-Cu and low Pb contents except Zn-Pb-rich ores of the Safyanovka deposit. The Yaman-Kasy, Molodezhnoe and Dusa volcanogenic massive sulfide deposits have similar characteristic, however the Safyanovka deposit is thought to be different type from the Yaman-Kasy, Molodezhnoe and Dusa deposits.