秋田県北鹿地域黒鉱鉱床産 carrollite, meneghinite, bournonite について

Carrollite, meneghinite and bournonite from the Kuroko
deposits, Akita Prefecture, Japan

山 岡 一 雄 (Kazuo Yamaoka)*
根 建 心 具 (Munetomo Nedachi)**
増 渕 和 芳 (Kazuyoshi Masubuchi)***
神 原 洋 (Hiroshi Kanbara)****

Carrollite, meneghinite and bournonite are rare minerals in the Kuroko deposits, and occur in very restricted parts of the uppermost part of the black ore zone. Carrollite is found exclusively in a chalcopyrite rich part of the black ore of the Matsumine ore deposit of the Hanaoka mine. The mineral is intimately associated with chalcopyrite, bornite and pyrite and also with sphalerite (0.2-0.3 wt% Fe), tennantite, galena and barite.

Meneghinite, bournonite and boulangerite are found in the black ore from the Uwamuki ore deposits of the Kosaka mine. Moreover, at the Uwamuki No. 3 ore deposit, euhedral crystals of meneghinite and bournonite occur in cavities of the black ore, and are closely associated with barite and sphalerite (0.10 wt% Fe, below 0.01 wt% Mn, 0.17 wt% Cd).

Mode of occurrence and mineralogical data of these rare minerals are described in this paper and the brief discussion for the mineral genesis has been offered.

1. 緒 言

黒鉱鉱床からは50種類に近い硫化鉱物・硫塩鉱物が知られている。黒鉱鉱床でも、珪鉱帯や黄鉱帯の硫化鉱物・硫塩鉱物の種類は比較的少なく、黄鉄鉱・黄銅鉱などの主要構成鉱物を含めても20種類に満たないが、その上位の黒鉱帯ではその種類は急速に増大し、多種類の銀鉱物（例えば Cu-Ag-S 系銀鉱物や Cu-Ag-As-Sb-S 系銀鉱物など）を始め、四面銅鉱や硫砒銅鉱などの銅の硫塩鉱物や、黒鉱鉱床から産する稀産鉱物——例えば Ni 鉱物の vaesite (Sato and Shimazaki, 1974), millerite (浦島ほか, 1975), gersdorffite (佐藤ほか, 1981)——の多くは、殆どこの帯から見いだされている。

Carrollite, meneghinite, bournonite なども黒鉱帯の上盤近くの鉱石中から見いだされた鉱物であり、その一

部については既に報告している（山岡ほか, 1976; 神原ほか, 1976）が、その後明らかになった若干のデータを加え、その産状・化学組成・X線回折結果などについて改めて報告する。

2. 花岡鉱山松峰鉱床産 carrollite について

秋田県花岡鉱山松峰鉱床（神原ほか, 前出）と、同県釈迦内鉱山第8鉱体（浦島ほか, 1976）から、ほぼ時を同じくして carrollite が見いだされた。

松峰鉱床の carrollite は、鉱体最上部の層状～レンズ状黒鉱鉱石中の黄銅鉱濃集部 (L210S₄, 500m 採掘) から見いだされ、その大きさ 0.05～0.20mm 程度、黄銅鉱・斑銅鉱と最も密接に共生するが、黄鉄鉱・閃亜鉛鉱 (0.4～0.6 mole % FeS*****)・方鉛鉱・四面銅鉱・重晶

* 仙台市上杉 6-2-69

** 鹿児島大学教養部

*** 同和工営（株）

**** 花輪鉱山（株）

***** EPMA による。

石なども同一研磨片中に存在する*。carrollite の鏡下の性質は黄鉄鉱に類似するが、黄鉄鉱よりやゝ硬度が低く、また僅かに pinkish である点で黄鉄鉱から区別される。Carrollite は斑銅鉱により取り囲まれる場合が多いが、その場合は斑銅鉱に対しては常に自形であり、共存する黄鉄鉱が黄銅鉱中で一見 corroded form 様の様相を示すのとは対照的である。

EPMA によって求めた松峰鉱床産 carrollite の組成を、浦島ら (前出) によって示された釈迦内鉱床産 carrollite の組成とともに Table 1 に示した。Table 1 中には Ito *et al.* (1973)・Tatsumi *et al.* (1975) により、本邦で始めて報告された四国三波川帯の層状含銅硫化鉄鉱床産の carrollite の組成も示されている。松峰鉱床産 carrollite は EPMA により線分析を行ってもその組成は殆ど均質であり、Table 1 の分析値からは、 $(\text{Co}_{1.93}\text{Ni}_{0.06}\text{Fe}_{0.06})_{2.04}\text{Cu}_{1.01}\text{S}_{3.95}$ (total atom を 7 とし計算) の実験式が得られるが、これは carrollite の理想式 Co_2CuS_4 にほぼ符合する。

Table 2 は松峰鉱床産 carrollite の X線回折データである**。精度に若干の難点はあるが、主要回折線は A. S. T. M. card (9-425) 所載の carrollite (N. Rhodesia の N'kana 産) と殆ど一致している。

Carrollite はスピネル構造を有する linnaeite 系鉱物の一種であるが、linnaeite 系の他の鉱物、例えば siegenite $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$ やその他の Co 鉱物は未だ見いだされていない。尚、carrollite と共存する四面銅鉱は 2.2~4.3 wt % の Bi を含有する砒四面銅鉱で、その EPMA による分析値は Table 3 に示されている。

3. 小坂鉱山上向鉱床産 meneghinite と bourbonite について

小坂鉱山上向第 3 鉱体 L27.5 の緻密塊状黒鉱中の小晶洞から、小柱状~針状の meneghinite (c 軸方向の長さ 2~3mm, 最大 5mm) と、粒状の bourbonite (c 軸方向に 1~2.5mm) の美晶が見いだされた。meneghinite や bourbonite の見られる小晶洞中には、閃亜鉛鉱や重晶石の単結晶も簇生している。小晶洞中の閃亜鉛鉱は淡黄緑色を呈する透明結晶で、原子吸光法により求めた Fe, Mn, Cd の量は、それぞれ 0.10, 0.01 以下、0.17 wt% となっており、殆ど ZnS 組成に近い閃亜鉛鉱である。

小晶洞を有する緻密塊状黒鉱は、重晶石や閃亜鉛鉱に富み、少量の方鉛鉱・コロフォーム黄鉄鉱・四面銅鉱・light etching をする未同定 Ag 鉱物などを伴うが、黄

Table 1. Chemical compositions of carrollites from the Kuroko and the bedded cupriferous pyrite deposits

	Kuroko Deposit			Bedded Cupriferous Pyrite Deposit	
	1	2	3	4	5
Co	37.2	35.89	35.77	39.9	38.1
Cu	20.9	20.04	20.29	15.8	20.2
Fe	0.9	0.99	0.89	1.1	0.2
Ni	1.2	1.58	1.61	1.4	0.9
S	41.4	41.49	41.86	42.7	42.0
Total	101.6	99.99	100.43	100.9	101.4
Co	27.59	26.96	26.74	29.42	28.19
Cu	14.37	13.98	14.08	10.80	13.86
Fe	0.70	0.71	0.71	0.86	0.16
Ni	0.89	1.14	1.14	1.04	0.67
S	56.44	57.20	57.33	57.88	57.12

Upper: Weight percent Lower: Atomic percent

1: Matsumine mine (Kanbara *et al.* 1976) 2, 3: Shakanai mine (Urashima *et al.* 1976) 4: Shirataki mine (Ito *et al.* 1973) 5: Sazare mine (Tatsumi *et al.* 1975)

* Czamanske (1974) の 1kb, 271° と 395°C の実験では、黄銅鉱-黄鉄鉱-斑銅鉱共生体 (sulfur fugacity の buffer として使用) と平衡状態にある閃亜鉛鉱中の FeS 量は、それぞれ 0.19 ± 0.02 , 0.55 ± 0.08 mole% と測定されている。

** Debye-Scherrer 法による。

Table 2. X-ray diffraction pattern of carrollite from the Matsumine ore deposit of the Hanaoka mine

hkl	I		II	
	d(Å)	I	d(Å)	I
111	-	-	5.47	20
022	3.36	s	3.35	40
113	2.85	vs	2.86	100
004	2.37	m	2.37	50
224	-	-	1.934	20
115,333	1.825	m	1.825	60
044	1.676	s	1.674	80
135	-	-	1.600	5
026	-	-	1.501	10
335	1.446	w	1.446	20
444	-	-	1.369	20
117,155	-	-	1.327	10
246	-	-	1.267	20
137,355	1.235	w	1.234	30
008	1.187	w	1.185	30
066,228	-	-	1.118	10
157,555	1.097	w	1.095	30
048	1.062	w	1.061	30
119,357	-	-	1.041	5
466	-	-	1.011	5
139	0.997	m	0.994	50
a ₀ (Å)	9.49 ± 0.02		9.48	

I: Carrollite from the Matsumine ore deposit of the Hanaoka mine

II: Carrollite from N'Kana, N. Rhodesia (A. S.T.M. card, 9-425)

銅鉱を欠いている。この緻密塊状黒鉱中には meneghinite や bournonite のほか、boulangerite も見いだされ、その鉱物共存関係は Matsukuma *et al.* (1974) によって報告された上向第1鉱体のものと全く同様である*。緻密塊状黒鉱中の Cu-Pb-Sb-S 系鉱物間の鏡下に見られる鉱物組合せとしては、galena-bournonite, meneghinite-bournonite, meneghinite-boulangerite-bournonite, galena-meneghinite-boulangerite などがあり、この中には一部に交代組織とも累被組織とも受け取れる組織も認められるが、これについては別の機会に報告したい。これらの Cu-Pb-Sb-S 系鉱物と共存する方鉛鉱は少量の Sb (0.64 wt%)*^{**} を含有している。

上向第3鉱体 L27.5 産の緻密塊状黒鉱中の meneghinite, bournonite, boulangerite の EPMA による分析値を Table 4 に示した。Table 4 中には Matsukuma *et al.* (前出) により既に報告されている上向第1鉱体の緻密

Table 3. Chemical compositions of tennantite coexisting with carrollite

	1-1-3	1-1-4
Cu	41.0	41.5
Ag	0.2	0.2
Zn	7.7	7.7
Fe	0.5	0.8
Sb	5.6	5.9
As	13.3	14.1
Bi	4.3	2.2
S	26.8	27.2
Total	99.4	99.6
Cu	34.7	34.7
Ag	0.1	0.1
Zn	6.4	6.3
Fe	0.5	0.8
Sb	2.5	2.6
As	9.6	10.0
Bi	1.1	0.6
S	45.1	45.1

Upper: Weight percent

Lower: Atomic percent

黒鉱中のこれらの鉱物の分析値も示されている。Table 4 から求めた上向第3鉱体の meneghinite, bournonite, boulangerite の実験式はそれぞれ $\text{Cu}_{0.93}\text{Pb}_{13.00}\text{Sb}_{7.04}\text{S}_{24.03}$ (total atom を 45 として計算), $\text{Cu}_{0.97}\text{Pb}_{13.02}\text{Sb}_{6.88}\text{S}_{24.02}$ (total atom を 6 として計算), $\text{Pb}_{5.02}\text{Sb}_{3.88}\text{S}_{11.10}$ (total atom を 20 として計算) となる。これを meneghinite の理想式 $\text{CuPb}_{13}\text{Sb}_{7}\text{S}_{24}$, bournonite の理想式 CuPbSbS_3 , boulangerite の理想式 $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ と比べれば、boulangerite に若干のずれがあるものの、他は概ね良好な一致を示している。

Table 5 および Table 6 には、それぞれ上向第3鉱体の小晶洞中の meneghinite と bournonite の X線回折データ*** と、回折データから求めた格子定数が示されている。いずれも A. S. T. M. カード所載のそれらの鉱物のデータとよく一致している。

4. 考 察

黒鉱鉱床産鉱石中の Co 含有量は一般に著しく低く、黒鉱に比しては珪鉱・黄鉱で比較的高いとはいうものの、精々数 10ppm までであり、100ppm を超えるものは未だ報告されていない (高橋, 1963, 1966; 伊藤・佐

* meneghinite, bournonite, boulangerite の鏡下の性質は Matsukuma *et al.* (1974) に示されているので、ここでは省略する。

** EPMA による。

*** Guinier camera による。CuK α_1 使用。Pure silicon にて補正。

Fig. 1. Photographs.

A, B: Photomicrographs of polished section of the carrollite-bearing black ore from the Matsumine ore deposit of the Hanaoka mine.

C: Meneghinite found in a cavity of the black ore. Uwamuki No. 3 ore deposit, Kosaka mine.

D: Bournonite found in a cavity of the black ore. Uwamuki No. 3 ore deposit, Kosaka mine.

E: Photomicrographs of polished section of meneghinite, bournonite and boulangerite in the massive black ore. Uwamuki No. 3 ore deposit, Kosaka mine.

Abbreviations of minerals

Ba: Barite	Bl: Boulangerite	Bn: Bournonite	Bo: Bornite
Car: Carrollite	Cp: Chalcopyrite	Gn: Galena	
Mg: Meneghinite	Py: Pyrite.

Fig. 2. Paragenetic relation of the minerals of the Pb-Cu-Sb-S system from the Uwamuki ore deposit of the Kosaka mine.

Table 4. Chemical compositions of meneghinite, bournonite and boulangerite from the Uwamuki ore deposit of the Kosaka mine

	Meneghinite Cu Pb ₁₃ Sb ₇ S ₂₄		Bournonite Cu Pb Sb S ₃		Boulangerite Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁	
	1	2	1	2	1	2
Cu	1.35	1.5	12.85	12.6	0.01	-
Pb	61.63	61.1	43.73	42.7	56.39	58.2
Sb	19.61	19.6	25.04	24.7	25.55	25.2
S	17.63	16.7	20.04	18.5	19.30	19.8
Total	100.22	98.9	101.66	98.5	101.25	103.2
Cu	2.06	2.3	16.25	16.7	0.02	-
Pb	28.89	29.5	16.97	17.4	25.10	25.4
Sb	15.64	16.1	16.53	17.1	19.36	18.7
S	53.41	52.1	50.25	48.7	55.53	55.9

Upper: Weight percent Lower: Atomic percent

1. Uwamuki No. 3 ore deposit (Yamaoka *et al.* 1976)

2. Uwamuki No. 1 ore deposit (Matsukuma *et al.* 1974)

藤, 1969)。黒鉱鉱床の主要構成鉱物中では、Co 含有量は黄鉄鉱で比較的高く、釈迦内鉱山では 10~90ppm (最高 125 ppm) の値が出されており、黄銅鉱・閃亜鉛鉱・四面銅鉱では 5~40ppm, 方鉛鉱では 5ppm 以下と報告されている。(西山・港, 1973)

Carrollite は本邦では四国三波川帯の層状含銅硫化鉄鉱床から稀産鉱物として始めて見いだされ、Ito *et al.* (前出), Tatsumi *et al.* (前出) により報告されている。層状含銅硫化鉄鉱床中の carrollite の成因については、これを三波川変成作用の際の変成鉱物として捉え、

黄鉄鉱中の微量成分として含まれていた Co が、激しい変成作用により黄鉄鉱中から吐き出され、周囲に共存していた黄銅鉱と反応して生成したものと結論されている。層状含銅硫化鉄鉱床において、carrollite の認められる鉱床は、変成度の最も高い点紋帯中に存在する白滝・佐々連両鉱床であり、無点紋帯の鉱床からは見いだされていない。層状含銅硫化鉄鉱床産の黄鉄鉱中の Co 含有量は 100~3,000ppm (最高 5,000ppm) と報告されており (伊藤, 1976), この値は黒鉱鉱床産のそれより 1 桁ないし 2 桁高い。

Table 5. X-ray diffraction pattern of meneghinite from the Uwamuki No. 3 ore deposit of the Kosaka mine

hkl	I		II	
	d	I	d	I
240	4.13	25	4.10	30
122,320	3.74	62	3.70	90
132	3.53	6	3.52	10
260	3.29	100	3.29	100
232	-	-	3.07	10
270,242,180	2.94	55	2.91	80
360,252	2.74	20	2.74	40
280	2.66	30	2.64	30
082,0.10.0,352	2.41	7	2.41	10
422	2.30	8	2.30	10
432,282	2.25	11	2.24	30
470,442	2.19	10	2.19	30
540,452	2.12	15	2.12	10
480,004,0.10.2	2.08	15	2.07	50
462,0.12.0	-	-	2.02	5
560	1.978	22	1.967	40
392,472	-	-	1.935	10
542,234,373	1.895	20	1.875	40
	1.850	8	1.846	10
	1.806	9	1.799	20
	1.774	9	1.779	10
	-	-	1.735	5
	1.722	12	1.717	40
	-	-	1.687	5
	-	-	1.537	10
	-	-	1.497	5
	1.482	6	1.480	10
	-	-	1.438	10
$a_0(\text{\AA})$	11.5 ± 0.2		11.38	
$b_0(\text{\AA})$	24.1 ± 0.2		24.09	
$c_0(\text{\AA})$	8.3 ± 0.1		8.28	

I: Meneghinite from the Uwamuki No. 3 ore deposit of the Kosaka mine.

II: Meneghinite from Tuscany, Italy (A.S.T.M. card, 8-7)

松峰鉱床から見いだされた carrollite は、その産状・鉱石鉱物の組織・共生関係などからみて、初生鉱物と考えられ、その晶出は黒鉱鉱化作用のうち重金属沈殿期の末期近くである。carrollite が安定に存在し得る硫黄分圧—温度条件に関しては、Craig *et al.* (1979) の論文がある。Craig *et al.* は sealed silica capsule を用いて、400°~900°C 間の Cu-Co-S 系の相関係について研究しているが、また天然に産出する carrollite とその共生鉱物についても検討し、 fs_2 -1/T 図上で carrollite の安定領域を示している。それによれば carrollite は硫黄分圧の上昇により digenite+cattierite (CoS_2) に分解するが、分解するときの fs_2 は 300°C ではほぼ $10^{-5.7}$ atm, 250°C では $10^{-7.2}$ atm である。松峰鉱床ではこの分解は行なわれておらず、carrollite は黄銅鉱・斑銅鉱・黄鉄

鉱と共生している。このことは pH-酸素分圧条件からみれば carrollite の生成が、還元硫黄種-酸化硫黄種優勢領域の境界付近の、黄銅鉱・斑銅鉱・黄鉄鉱 3 者共存領域付近で行なわれたことを意味し、Barnes (1979) や鹿園・古宇田 (1979) の示した pH- fo_2 図からは、例えば 250°C では 3 者共存領域付近の fo_2 はほぼ $10^{-8.6}$ atm となる。さきに述べた fs_2 -1/T 図からは、黄銅鉱・斑銅鉱・黄鉄鉱 3 者共存領域付近の fs_2 は 250°C では、ほぼ $10^{-8.4}$ atm の値が得られる。

Meneghinite, bournonite, boulangerite などの Pb-Cu-Sb-S 系鉱物は、黒鉱帯の上盤近くの鉱石中、極く限られた部分にしか見いだされない。そのような部分では、鉱石中の小晶洞に稀に meneghinite や bournonite の美晶が、重晶石や FeS 量に乏しい閃亜鉛鉱とともに晶出

Table 6. X-ray diffraction pattern of bournonite from the Uwamuki No. 3 ore deposit of the Kosaka mine

hkl	I		II	
	d	I	d	I
100	8.15	w	-	-
110	5.95	w	5.97	5
011	5.82	m	5.81	15
101	5.64	w	5.64	5
111	4.73	w	4.735	5
020	4.35	s	4.351	15
200	4.07	s	4.081	20
002	3.90	vs	3.905	30
120	3.841	vs	3.840	35
210	3.689	s	3.694	20
211	3.335	w	3.344	5
112	3.267	s	3.268	20
220	2.974	s	2.998	25
022	2.907	s	2.909	20
202	2.820	s	2.824	25
221	2.779	m	2.785	15
122,130	2.736	vvs	2.740	100
031,300	2.718	w	2.725	10
212	2.681	vs	2.685	45
310	2.593	s	2.598	25
131	2.581	w	2.584	10
301	2.567	w	2.572	5
113	2.386	w	2.388	5
222,230	2.365	m	2.369	15
320	2.305	m	2.308	5
231	2.262	w	2.269	5
132	2.238	m	2.242	10
302	2.230	vw	2.234	5
040	2.177	w	2.178	5
312	2.160	w	2.163	5
140	2.101	m	2.105	15
141	2.026	vb	2.032	5
322,330	1.9837	s	1.986	30
223	1.9583	w	1.960	15
004	1.9526	s	1.953	30
033	1.9391	vw	1.938	5
331,240	1.9225	vw	1.922	5
042,104	1.9008	vw	1.901	5
133	1.8860	vw	1.884	5
142,420	1.8510	s	1.851	30
421	1.7945	w	1.795	9
024	1.7824	vw	1.781	9
332	1.7677	s	1.768	50
204	1.7613	w	1.759	11
124	1.7400	m		
323	1.7243	w		
242	1.7217	w		
150,051	1.7014	w		
422	1.6687	m		
151	1.6624	w		
341	1.6584	w		
431	1.6306	m		
510,250	1.6002	w		
134	1.5886	w		
511,251	1.5675	m		
a ₀ (Å)	8.144		8.168	
b ₀ (Å)	8.704		8.712	
c ₀ (Å)	7.810		7.811	

I: Bournonite from the Uwamuki No. 3 ore deposit of the Kosaka mine.

II: Bournonite from A.S.T.M. card, 12-94 (locality is not given).

している。この系の鉱物は主要構成元素として Sb を有しており、その晶出時（換言すれば黒鉱鉱化作用の晩期）には鉱液中の Sb 過飽和度も充分高かったことが考えられる。これら 3 鉱物と共存して重晶石が常に認められること、閃亜鉛鉱中の FeS 量の極めて乏しいこと（精々 0.2 mole % FeS）、黄銅鉱の認められないことなどは、この系の鉱物が carrollite の生成よりも更に酸素分圧の高い条件の下で晶出したことを推定せしめる。

本稿では carrollite, meneghinite, bournonite など黒鉱鉱床産の稀産鉱物の産状・共生関係・化学組成・X線回折結果などについて主として述べたが、黒鉱鉱床の黒鉱帯ではこれらの鉱物を含めて 50 種類に近い硫化鉱物・硫酸鉱物が殆ど同時に晶出している。これらの中には平衡条件下では共存し得ない幾つかの鉱物組合せも存在しており、黒鉱鉱石の生成が物理化学的条件の急激に変化する環境で行なわれたことをうかがわせる。

謝 辞 松峰・上向両鉱床の調査に当り、種々便宜を取計って下さった花岡・小坂両鉱業所の方々、とくに当時の探査課長 谷村昭二郎氏に深く感謝する。また、閃亜鉛鉱の原子吸光分析では加藤祐三博士（現在 琉球大学）、資料整理では東北大学 石川賢一博士の御世話になった。厚く御礼申し上げる次第である。

引用文献

- Barnes, H.L. (1979), Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 350-352.
- Craig, J.R., Vaughan, D.J. and Higgins, J.B. (1979), Phase relations in the Cu-Co-S system and mineral associations of carrollite (CuCo_2S_4)-linnaeite (Co_3S_4) series. *Econ. Geol.*, **74**, 657-671.
- Czamanske, G.K. (1974), The FeS content of sphalerite along the chalcopyrite-pyrite-bornite sulfur fugacity buffer. *Econ. Geol.*, **69**, 1328-1334.
- 伊藤司郎, 佐藤壮郎 (1969), 黒鉱の微量成分元素について。シンポジウム「黒鉱鉱床の構成鉱物ならびに熱水鉱床産硫化鉱物の結晶学と地球化学」, 岩鉱・鉱山地質・鉱物学会連合学術講演会資料, 89-93.
- Ito, S., Endo, Y., Sato, T. and Shimazaki, Y.

- (1973), Carrollite from the Shirataki mine, Kochi Prefecture, Japan. *Mineral. J.*, **7**, 282-288.
- 伊藤司郎 (1976), 微量元素による本邦含銅硫化鉄鉱床の地球化学的研究. 地調月報, **27**, 245-377.
- 神原 洋, 根建心具, 山岡一雄 (1976), 秋田県花岡鉱山松峰鉱床産カロライト. 鉱物学会 1976 年年会講演要旨録, 134.
- Matsukuma, T., Niitsuma, H., Yui, S. and Wada, F. (1974), Rare minerals from Kuroko ores of the Uwamuki deposits of the Kosaka mine, Akita Prefecture, Japan. *Mining Geol. Special Issue*, No. 6, 349-361.
- 西山 孝, 港 種雄 (1973), 硫化鉱物中の微量成分 (II) — 釈迦内鉱山産閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄鉄鉱, 黄銅鉱および四面銅鉱について. 鉱山地質, **23**, 205-211.
- Sato, T. and Shimazaki, Y. (1975), Vaesite from the Uchinotai deposits, Kosaka mine, Japan. *Mineral. J.*, **7**, 431-437.
- 佐藤寿一, 荒金敏光, 伊藤俊彦, 小野修司 (1981), 秋田県銀山黒鉱鉱床の鉱石鉱物. 日鉱誌, **97**, 1-6.
- 鹿園直建, 古宇田亮一 (1979), Tetrahedrite-tennantite 系鉱物の化学組成と鉱床の生成条件. 鉱山地質, **29**, 33-41.
- 高橋 清 (1963), 硫化鉱物の微量成分の地球化学的研究 — とくに東北日本内帯鉱床区の鉱床について. 地調報告, 199 号, 1-67.
- 高橋 清 (1966), 黒鉱および黒鉱鉱物の微量成分. 日鉱誌, **82**, 1065-1071.
- Tatsumi, T., Nakayama, F., Urabe, T. and Shimazaki, H. (1975), Carrollite from the Sazare mine, Ehime Prefecture, Japan. *Mineral. J.*, **7**, 552-561.
- 浦島幸世, 佐藤寿一, 前田寛之 (1976), 釈迦内鉱床の carrollite を含む鉱石. 鉱物学会 1976 年年会講演要旨録, 135.
- 浦島幸世, 佐藤寿一, 米田哲朗 (1975), 釈迦内鉱床第 11 鉱体のニッケル鉱物を含む鉱石 (演旨). 鉱物・鉱山地質・岩鉱学会 昭和 50 年秋季連合学術講演会要旨集, 95.
- 浦島幸世, 佐藤寿一, 伊藤俊彦, 前田寛之, 米田哲朗 (1977), 秋田県北鹿地域黒鉱鉱床の 2, 3 の微量鉱物成分. 総研 (A) 新第三紀熱水性鉱床の鉱石の共生と生成条件 (研究代表者 松隈寿紀), 34-47.
- 山岡一雄, 神原 洋, 増淵和芳 (1976), 小坂鉱山上向鉱床産 Cu-Pb-Sb-sulphosalts について. 昭和 51 年鉱山地質・岩鉱・鉱物学会連合学術講演会要旨集, 3.