

## 岩手県釜石市六黒見金スカルン鉱床の鉱石の帯状配列と化学組成変化

石山大三<sup>1</sup>、森 一也<sup>1</sup>、福山繭子<sup>1,2</sup>、世良耕一郎<sup>3</sup>、水田敏夫<sup>4</sup>

<sup>1</sup>秋田大学工学資源学研究科  
010-8502 秋田市手形学園町 1-1

<sup>2</sup>台湾中央研究院地球科学研究所  
11529 台北市南港区研究院路二段 128 号

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>秋田大学国際資源学教育研究センター  
010-8502 秋田市手形学園町 1-1

### 1 はじめに

六黒見鉱床は、岩手県釜石鉱山北東 6 km に位置する鉱量 8 万トン、Fe 2 wt %、Cu 0.01 wt %、Au 8 g/t、Ag 2 g/t の品位の金スカルン鉱床である (Fig. 1)。本鉱床は、古くから知られていたが、鉱床学的記載はそれほど多くはない。本研究では、六黒見鉱床クルミ坑周辺にみいだされた含 Bi スカルン鉱石について鉱石累帯構造の観察、鉱物組合せ、PIXE 法による化学組成の検討を行い、スカルン鉱化作用時の流体の移動について検討した。

### 2 六黒見鉱床の地質・鉱床概要

六黒見鉱床周辺の地質は、石炭系～ペルム系の泥岩、砂岩、石灰岩からなる堆積岩類と白亜紀の蟹岳複合岩体および栗橋花崗閃緑岩体を構成する閃緑岩、花崗閃緑岩等の火成岩類からなる (Fig. 1)。本地域の堆積岩類は、蟹岳複合岩体の火成岩体や栗橋花崗閃緑岩体の熱変成作用を被っている<sup>1,2)</sup>。特に、六黒見鉱床近傍の地質は、黒雲母片岩、レンズ状石灰岩、閃緑岩から構成される<sup>3)</sup>。鉱床は、レンズ状石灰岩と閃緑岩

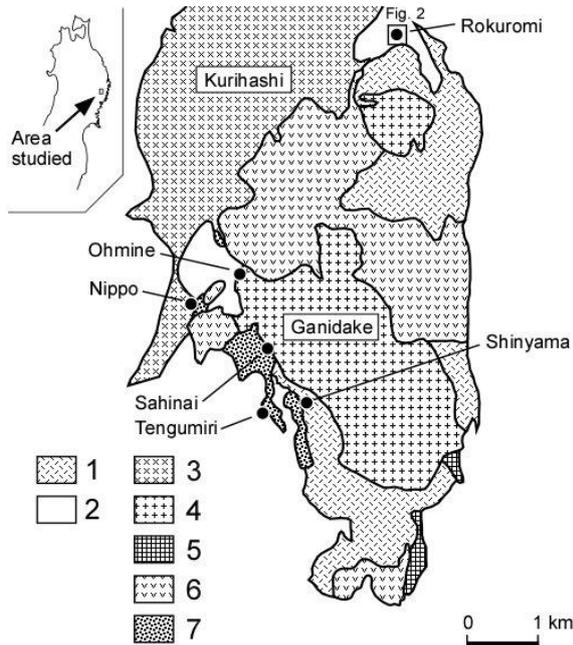


Fig. 1 Map showing geology around the Rokuromi and Kamaishi deposits and distribution of ore deposits<sup>1,2)</sup>. 1: Tsuchikura Formation, 2: Carboniferous to Permian sedimentary rocks, 3: Kurihashi granodiorite, 4: Ganidake granodiorite, 5: Monzonite, 6: Diorite to diorite porphyry, 7: Skarn

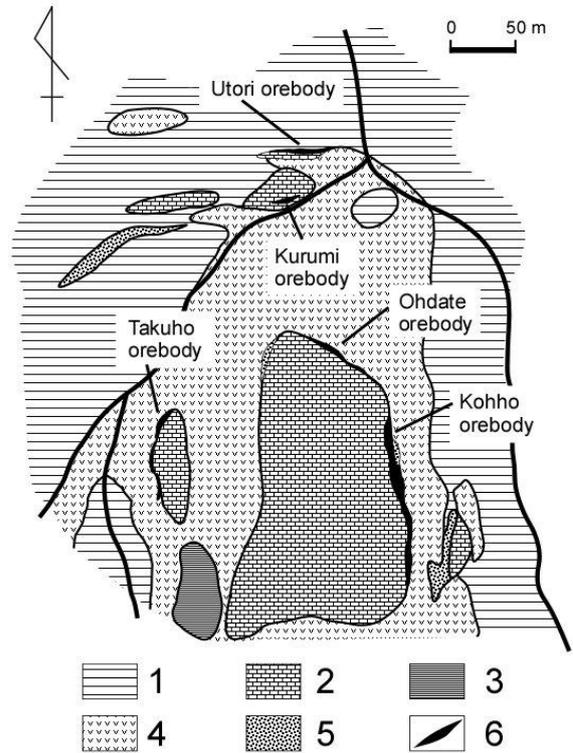


Fig. 2 Map showing geology of the Rokuromi deposit<sup>3)</sup>. 1: Biotite schist, 2: Limestone, 3: Chert, 4: Diorite porphyry, 5: Skarn, 6: Orebody

の境界部にレンズとして発達する(Fig. 2)。本鉱床には、大館坑、好舗坑、沢舗坑、クルミ坑がある。大館坑坑口周辺では、石灰岩、硫化鉱物鉱石、スカレン、閃緑岩の順に累帯配列が認められる。本鉱床の各鉱体を構成する鉱石鉱物は、磁硫鉄鉱 ( $Fe_{1-x}S$ ) > 磁鉄鉱 ( $Fe_3O_4$ ) > 黄鉄鉱( $FeS_2$ )、硫砒鉄鉱 ( $FeAsS$ )、黄銅鉱 ( $CuFeS_2$ ) >> 砒鉄鉱 ( $FeAs_2$ )-自然ビスマス (Bi) - 輝蒼鉛鉱 ( $Bi_2S_3$ )である。

### 3 含Bi 鉱石の累帯配列と鉱物組合せ

大館坑坑口に認められる石灰岩、硫化鉱物鉱石、スカレン、閃緑岩の累帯配列と同様な累帯配列が認められる含Bi 鉱石試料がクルミ坑周辺において得られた (Figs. 2 & 3)。本試料では閃緑岩から石灰岩にかけて、閃緑岩→スカレン→硫化物に富むスカレン→石灰岩の配列が認められる (Fig. 3)。スカレン帯の幅は約1 cm、硫化物に富むスカレンの幅は5mm～数mmである。閃緑岩、スカレン、硫化物に富むスカレン、石灰岩の鉱物組合せは次のとおりである。閃緑岩は、斜長石、輝石 (salite-ferrosalite)、角閃石 (hastingsite-ferropargasite、

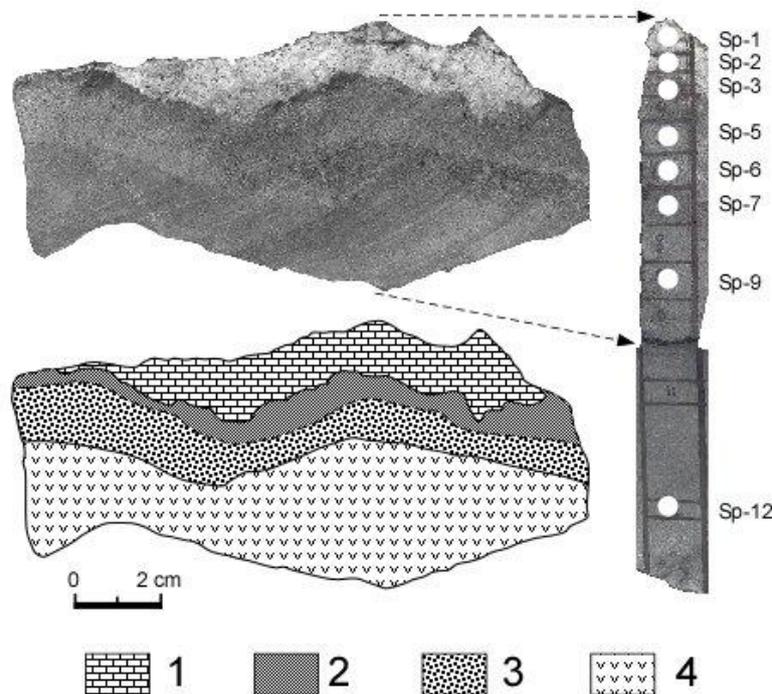


Fig. 3 Representative sample from the Rokuromi deposit. 1: Limestone, 2: Sulfide-rich skarn, 3: Sulfide-poor skarn, 4: Diorite. Positions of samples for PIXE analyses are shown in the enlarged picture.

edenite)、黒雲母と少量の磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、砒鉄鉱、黄銅鉱からなる。スカルンは、斜長石、輝石 (salite-ferrosalite)、ザクロ石 (grandite)、磁鉄鉱と少量の磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、砒鉄鉱、黄銅鉱からなる。硫化物に富むスカルンは、輝石 (salite-ferrosalite)、ザクロ石 (grandite)、磁硫鉄鉱と少量の磁鉄鉱、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄銅鉱、自然ビスマス、輝蒼鉛鉱から構成される。石灰岩は、方解石と少量の磁硫鉄鉱からなる。本試料の帯状配列に直交する方向に 8 点を選択し (Fig. 3)、PIXE 法により  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{S}$ 、 $\text{As}$  濃度を測定した。

#### 4 試料調製法および測定法

各分析試料は、 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$  に切りだされ、鉄乳鉢で粉碎後、メノウ乳鉢で微粉末化された。メノウ乳鉢で微粉末試料を作成する際には、エチルアルコールを少量滴下し、粉体試料をスラリー状にして微粉末化を行った。作成した微粉末試料を  $5\text{ mg}$  秤量し、蒸留水中に超音波洗浄器を使い分散させた。微粉末試料が分散している溶液を  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  のポリカーボネート濾紙でろ過し、粉体を濾紙の上に固定し、PIXE 分析用試料を作成した<sup>4)</sup>。試料中の各元素含有量を推定するために必要な内標準元素には、Fe および Ca を用いた。各試料の Fe と Ca 含有量は、同じ粉体試料をフッ酸、過塩素酸、硝酸の混酸で分解溶液化して、原子吸

Table 1 Chemical compositions of limestone to diorite in Fig. 3 determined by PIXE.

	Sp-1	Sp-2	Sp-3	Sp-5	Sp-6	Sp-7	Sp-9	Sp-12
Distance* (cm)	-0.8	-0.3	0.4	1.1	1.6	2.2	3.5	7.4
wt %								
SiO <sub>2</sub>	2.64	1.74	36.5	32.2	41.2	42.2	51.5	52.1
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.08	0.50	0.74	0.62	0.83	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.16	5.32	10.5	20.8	18.2	18.0	20.0
FeO	0.11	0.11	30.5	30.4	17.1	10.5	7.8	7.8
MnO	0.09	0.09	0.34	0.19	0.14	0.14	0.13	0.11
MgO	0.42	0.28	3.75	4.02	3.85	3.16	3.46	3.97
CaO	54.1	55.6	23.4	18.5	21.3	16.5	7.74	7.57
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.10	0.11	0.24	0.89	2.46	4.27
K <sub>2</sub> O	0.12	0.19	0.15	0.10	0.17	1.78	4.37	2.59
(CO <sub>2</sub> )	42.5	43.6	-	-	-	-	-	-
S	0.06	0.09	4.63	0.56	0.05	0.02	0.07	0.13
As	0.01	0.01	0.03	0.02	0.07	0.06	0.00	0.01
Total	100.2	101.9	100.5	97.1	105.8	94.4	96.7	99.3

\* Distance from the boundary between limestone and skarn to the position of analysis.

光法で測定し求めた。

日本の標準岩石試料 JB-1a、JB-2、JB-3、JA-1、JA-2、JA-3 についても同様な手法で試料を作成し、PIXE 法により分析を行った。本方法で作成された粉体試料は、PIXE 分析試料としては厚い試料であり、自己吸収の影響があるために、PIXE 法による結果と公表値の間には違いが認められる。今回の検討試料と比較的組成が類似する上記の JB-1a~JA-3 の PIXE 法による分析結果と公表値から係数を産出し、その係数を、今回の検討試料の PIXE 分析結果に掛けて、分析値を求めた<sup>4)</sup>。

## 5 分析結果

分析結果を Table 1 に示した。分析値の Total の値は、94.1~105.4 wt % の間にあり、ばらつきが認められる。Si と Al は、通常の岩石の中で最も多く存在する元素群であり、この元素の測定精度が全体の測定精度と正確さに影響を与えている。また、Na、Mg、Al、Si 等の元素は、PIXE 法にとっては X 線のバックグラウンドが高いところにピークが出現する元素であり、測定が難しい元素である。現段階ではこれらのことのために、分析値の Total にはばらつきがある。

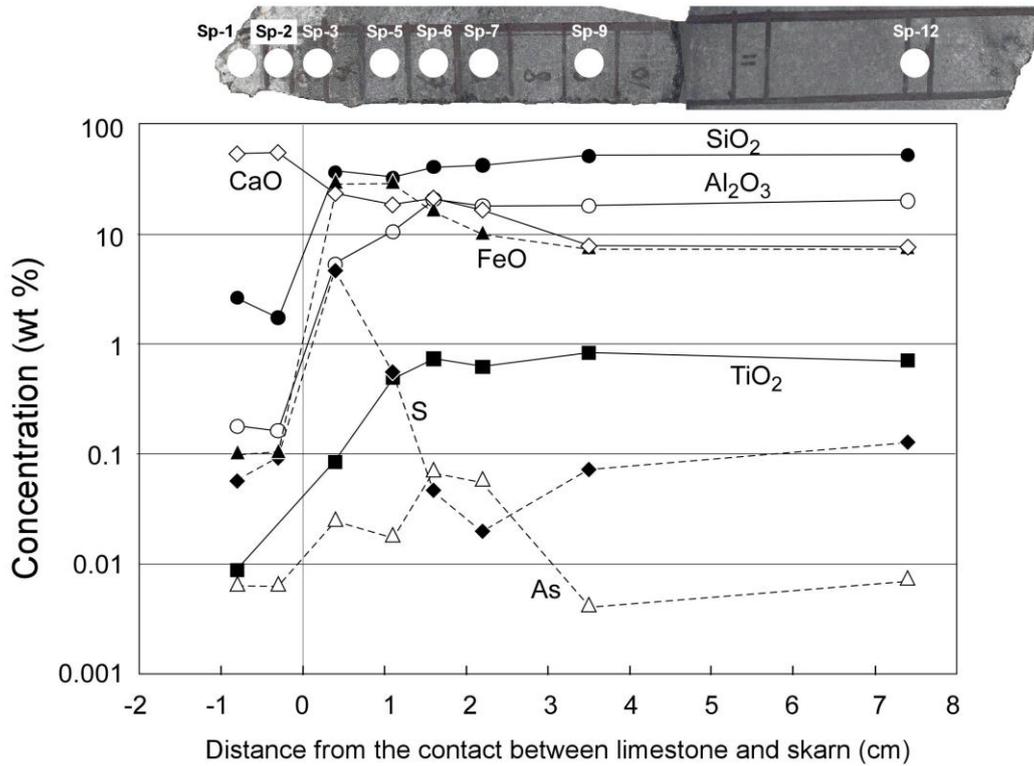


Fig. 4 Variation of chemical components from diorite to limestone..

SiO<sub>2</sub>含有量は、閃緑岩 (52.1~42.2 wt %)、スカルン (41.2~32.2 wt %)、石灰岩 (2.6~1.7 wt %) へ減少する (Fig. 4)。TiO<sub>2</sub>含有量は、閃緑岩 (0.8~0.6 wt %)、スカルン (0.7~0.1wt %)、石灰岩 (0.01 wt %) へ減少する。特に、スカルン帯の中の TiO<sub>2</sub>含有量は、スカルン帯の中でも石灰岩に接する sp-3 では、0.08 wt %、sp-5 では 0.5 wt %であり、大きく異なる。もともとの石灰岩と閃緑岩の境界部は、sp-3 と sp-5 の間に存在していた可能性がある。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量は、SiO<sub>2</sub>含有量と同様に、閃緑岩 (20.0~18.0 wt %)、スカルン (20.8~5.3 wt %)、石灰岩 (0.2 wt %) へ減少する。一方、FeO 含有量は、閃緑岩 (7.8~10.5 wt %) からスカルン (17.5~30.5 wt %) にかけて増加し、石灰岩 (0.1 wt %) へ減少する。CaO 含有量は、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO 含有量の変化と異なり、石灰岩 (55.6~54.1 wt %) からスカルン (23.4~18.5 wt %)、さらには閃緑岩 (16.6~7.6 wt %) へと減少する。S 含有量は、FeO と類似した変化を示す。S 含有量は、閃緑岩 (0.02~0.13 wt %) からスカルン (0.05~4.63 wt %) にかけて増加し、石灰岩 (0.09~0.06 wt %) へ減少する。As 含有量は、閃緑岩岩体内部 (0.01 wt %) から閃緑岩-スカルン境界部に向けて (0.07 wt %) 増加し、石灰岩 (0.01 wt %) へ減少する (Fig. 4)。

各分析試料の鉱物組合せおよびその量比と対応する部分の化学組成を比較した。SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 含有量の変化は、各岩相の鉱物組合せとその量比の変化に対応している。FeO と S 含有量の変化は、磁鉄鉱や磁硫鉄鉱など鉄鉱物の量的変化に対応している。As 含有量の変化は、硫砒鉄鉱と砒鉄鉱の量的変化を反映し、特に砒鉄鉱が多く認められる部分が高砒素含有量の部分に対応している。このように、閃緑岩から石灰岩までの化学組成変化と鉱物量比の変化の間には調和的な関係が認められる。

閃緑岩から石灰岩までの Si、Ti、Al、Ca の化学組成変化から、これらの元素濃度分布は、接触変成作用時の高温の時期の拡散による元素の移動により形成されたと考えられる。一方、Fe、S の化学組成変化は、硫化鉱物や磁鉄鉱が多く存在する石灰岩とスカルンの境界部付近で高く、石灰岩と閃緑岩の両方に向かいこれらの濃度が低下する分布を示す。この Fe と S の高含有量部は、スカルン帯の中でも石灰岩—スカルン境界部に近い部分に、この境界と平行に配列して存在している。Fe や S は、鉱化作用に関連する主要な元素であり、鉱化流体より運搬された可能性が高い。これらのことは、Fe や S を含む鉱化流体が石灰岩と閃緑岩の境界部のスカルン帯の伸長方向に平行に移動したことやこれらの元素がこの境界部から供給されたことを示す可能性がある。本鉱床よりより深部で発生した Fe や S を含む鉱化流体が、石灰岩と閃緑岩の境界部を主要な移動経路として移動し、石灰岩と閃緑岩の境界部付近に発達するスカルン帯に鉱石鉱物を沈殿させ鉱化作用を引き起こした可能性が考えられる。

## 5 まとめ

閃緑岩から石灰岩にかけて、閃緑岩 → スカルン → 硫化物に富むスカルン → 石灰岩の配列が認められる試料について、鉱物組合せ、PIXE 法による化学分析結果から以下のことが得られた。

1. PIXE 法による化学分析結果と鉱物組合せと鉱物量比の変化には良い対応が認められた。
2. 閃緑岩から石灰岩までの Si、Ti、Al、Ca の化学組成変化は、接触変成作用時の高温の時期の拡散による元素の移動により形成されたと考えられる。
3. 鉱化作用に関連する Fe と S の化学組成変化は、石灰岩とスカルンの境界部付近で高く、石灰岩と閃緑岩の両方に向かいこれらの濃度が低下する分布を示し、Si、Ti、Al、Ca の化学組成変化とは異なる。本鉱床よりより深部で発生した Fe や S を含む鉱化流体が、石灰岩と閃緑岩の境界部を移動経路として移動し、石灰岩と閃緑岩の境界部付近に発達するスカルン帯に鉱石鉱物を沈殿させ鉱化作用を引き起こした可能性がある。

文 献

- 1) 通商産業省, 昭和 45 年度広域調査報告 遠野地域, p.35 (1971)
- 2) 浜辺修二・野納敏展, 鉱山地質, v. 26, p.93 (1976)
- 3) 竹内常彦・南部松夫・岡田広吉・広瀬戦三郎・佐々木三郎, 未利用鉄資源, 第 3 輯, 釜石北部地区, p.231 (1956)
- 4) J.D. Zhang, D. Ishiyama and K. Sera, NMCC 共同利用研究成果報文集 17, pp. 96-107 (2011)

## **Zonal distribution and chemical variation of ore samples from the Rokuromi gold skarn deposit, Kamaishi city, Iwate prefecture, Japan**

Daizo Ishiyama<sup>1</sup>, Kazunari Mori<sup>1</sup>, Mayuko Fukuyama<sup>1,2</sup>, Koichiro Sera<sup>3</sup> and Toshio Mizuta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University  
1-1 Gakuen-Machi, Tegata, Akita 010-8502, Japan

<sup>2</sup>Institute of Earth Sciences, Academia Sinica  
128 Academia Road Sec. 2, Nankang, Taipei, 115 Taiwan, ROC

<sup>3</sup>Cyclotron Research Center, Iwate Medical University  
348-58 Tomegamori, Takizawa 020-0173, Japan

<sup>4</sup>International Center for Research and Education on Mineral and Energy Resources, Akita University  
1-1 Gakuen-Machi, Tegata, Akita 010-8502, Japan

### **Abstract**

Samples having a zonal structure of diorite, skarn, sulfide mineral-rich skarn and limestone from the gold-rich Rokuromi skarn deposit were examined to consider transportation mechanisms of heavy metals. The diorite consists of plagioclase, pyroxene (salite-ferrosalite), amphibole (hastingsite-ferropargasite, edenite), and biotite with small amounts of pyrrhotite, arsenopyrite, loellingite and chalcopyrite. The mineral assemblages of skarn are large amounts of plagioclase, pyroxene (salite-ferrosalite), garnet (grandite) and magnetite with small amounts of pyrrhotite, arsenopyrite, loellingite and chalcopyrite, and those of sulfide mineral-rich skarn are large amounts of pyroxene (salite-ferrosalite), garnet (grandite), and pyrrhotite with lesser amounts of magnetite, pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, native bismuth and bismuthinite. The limestone consists of a large amount of calcite and a small amount of pyrrhotite. The SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> contents of those rocks decrease from diorite to limestone, while the CaO content increases from diorite to limestone. The FeO and S contents are high in the sulfide-rich skarn between the limestone and skarn. The patterns of chemical variations are different between the group of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and CaO components and the group of FeO and S components. The variations of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and CaO contents are thought to have been formed by diffusion during the period of skarn formation, while the variations of FeO and S contents suggest that Fe and S were supplied by hydrothermal solution passing through the boundary between limestone and skarn.