

長野県阿智村春日山タングステンスカルン鉱床の産状

田中 良*・石山 大三**・水田 敏夫**

Mode of occurrence of the Kasugayama tungsten skarn deposit, Achi Village, Nagano Prefecture.
Ryo Tanaka*, Daizo Ishiyama** and Toshio Mizuta**

*〒399-3202 長野県下伊那郡豊丘村神稲770-2

**〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1 秋田大学工学資源学部応用地球科学教室

春日山鉱床のスカルンおよび鉱石鉱物の分布、鉱物組合せ、主要鉱物のEPMAによる化学組成について報告し、鉱床生成時の温度・硫黄分圧について推定し、関連する火成活動について考察する。

キーワード 阿智村, 春日山鉱床, スカルン鉱床, タングステン, 灰重石

Key word Achi Village, Kasugayama deposit, Skarn deposit, Tungsten, Scheelite

1. はじめに

春日山鉱床は長野県飯田市の南西約10kmの阿智村春日地域に位置し、中部地方領家帯の花崗岩類の分布地域に存在するスカルン型灰重石鉱床である。地元では春日鉱山と呼ばれ1940年代頃採掘が行われた。八木(1946)は、長野県内のタングステン鉱山を紹介する中で、本鉱床が日本鑛産会社の所有で、当時試掘中であつたことを記載している。鉱体は小規模で、出鉱量、品位等の稼行記録は不明である。本鉱床の位置が文献に記載されることは少なく、本鉱床の研究報告も多くはない。しかし、本鉱床から産出した鉱石および鉱物サンプルの分析値を用いた研究報告がいくつかなされている。例えば、閃亜鉛鉱のFeS, MnS, CdS含有量についてはShimazaki and Shimizu (1984)に、鉄バスタム石の化学組成についてはShimazaki and Bunno (1978)と松枝(1981)にまとめられている。特に、鉄バスタム石の化学組成の検討においては本鉱床産鉄バスタム石のデータはきわめて重要な情報を与えている。また、春日山鉱床は、鉱床を伴うことが少ない領家帯に存在するスカルン鉱床であり、領家帯が形成される環境での鉱化作用の特徴を理解するためにも重要な鉱床である。

本研究では、これまで報告例が少ない春日山鉱床のタングステン鉱化作用の特徴をまとめるために、地質学データ、肉眼および光学顕微鏡による観察とX線粉

末回折法実験のデータに基づくスカルンの産状、鉱物の分布と分帯、それらの鉱物組合せ、鉱物の晶出順序、EPMA分析による主要鉱物の化学組成について記載し、スカルン形成時の生成環境の検討を行う。

2. 地質概説

春日山鉱床は下伊那郡阿智村春日の国道153号線沿線の春日神社北西約2km地点に位置する(図1)。露頭は春日林道から30m程下った沢沿いに存在する。

本地域の地質は、領家変成岩類、変輝緑岩類と多量の花崗岩類から構成される(図1; 松島・寺平, 1984)。領家変成岩は、泥質ないし砂質の堆積岩およびチャートを原岩とする変成岩類である。変成作用は、一般に堇青石が含まれるので、堇青石帯に属する(山田ほか, 1974)。変輝緑岩は、細粒~中粒、塊状~弱片状、有色鉱物は主に普通角閃石、黒雲母、稀に普通輝石を含み各地に小岩体として分布する。花崗岩類は、白亜紀の天竜峡花崗岩(古期花崗岩類)と生田花崗岩、伊奈川花崗岩、清内路花崗岩(新期花崗岩類)から構成される。春日山鉱床付近では、伊奈川花崗岩が領家変成岩および変輝緑岩を捕獲して分布する(山田ほか, 1974)。伊奈川花崗岩体は、CHIME年代で約82.5Ma (Suzuki and Adachi, 1998)に形成された岩相変化の著しい粗粒な花崗閃緑岩である。

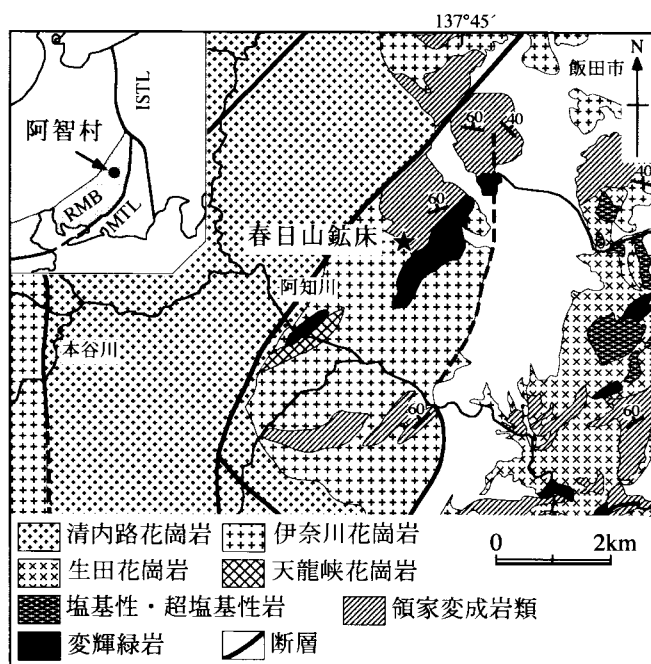


図1 春日山鉱床位置図とその周辺地質図(松島・寺平1984に加筆)
ISTL: 糸魚川-静岡構造線, MTL: 中央構造線, RMB: 領家帯

3. 春日山鉱床の地質とスカルン鉱床

春日山鉱床の近傍の地質は、主にチャート、ホルンフェルスから構成される領家変成岩類(河田・山田, 1957)と伊奈川花崗岩からなる(図1; 松島・寺平, 1984)。鉱床はこれらの領家変成岩類と伊奈川花崗岩の境界部に存在する。ホルンフェルスは、鉱床付近では細粒~中粒の石英と細粒緻密な黒雲母から構成され、石英が卓越する岩相と黒雲母が卓越する岩相がある。顕微鏡下では、細粒の黒雲母の他に石英、電気石、燐灰石等が認められる(表1)。伊奈川花崗岩は、灰白色、粗粒の花崗閃緑岩で、1~2 cm大のカリ長石が散点して、顕著な斑状構造を示すことが多い。主な構成鉱物は、普通角閃石、黒雲母、カリ長石、斜長石、石英で、その他に燐灰石、ジルコン、褐簾石、チタナイト、不透明鉱物を少量含む(河田・山田, 1957)。

鉱床は、領家変成岩類のホルンフェルスに接するチャート中のレンズ状の石灰岩がスカルン化した部分に存在する(図2)。スカルン化した部分には網状のペグマタイト質岩脈とアプライトが認められる。露頭北西側の再結晶質チャートが肥大化する部分に、縞状スカルンを切る幅30~50cmのペグマタイト質花崗岩岩脈が存在する。本花崗岩には、文象構造が認められる。主要鉱物は、長径5~30mmのカリ長石および石英と黒雲母が変質して生じた粒径2~5mmの緑泥石である(図3)。本ペグマタイト質花崗岩と接する柘榴石-単斜輝石スカルン中には灰重石が認められるが、本岩脈中には灰

重石は認められない。露頭の南東側に縞状スカルン部を切るN15E, 55°Wの走向傾斜をもつアプライトが存在する。本アプライト岩脈の幅は、再結晶質チャート中で肥大化し、最大幅50cmに達する。本アプライトは、優白色細粒でカリ長石と石英、少量の斜長石から構成され、黒雲母や緑泥石は肉眼では認められない。鏡下ではミルメカイト組織の発達が見られる。本アプライトおよび本アプライトと接する単斜輝石スカルン、再結晶質チャート中には灰重石は認められない。石灰岩は、著しい褶曲様の変形構造を伴い、再結晶質石灰岩、主に透輝石からなる単斜輝石スカルン、珪灰石スカルン及び再結晶質チャートの互層から構成される(図2)。

本鉱床のスカルンは、石灰岩の堆積構造に調和的に発達する縞状スカルンとペグマタイト質岩脈付近に発達する脈状スカルンに分類される。灰重石は、脈状スカルンに伴って存在する傾向が強い(図2)。本鉱床のスカルンの特徴は以下のとおりである。

(1) 縞状スカルン

縞状スカルンは、露頭の南東側に著しい褶曲様の変形構造を伴って存在し、少量の再結晶質石灰岩を挟む単斜輝石スカルン、珪灰石スカルン、再結晶質チャートから構成されている。

①単斜輝石スカルン

このスカルンは灰白色から淡緑色を呈し、珪灰石スカルンもしくは再結晶質チャート中に数mmから40cmの厚さで縞状に分布する(図2)。本スカルンは緻密で、鉱物粒は肉眼では確認できないが、透輝石からサーラ輝石成分をもつ単斜輝石を主体とするスカルンである(表1)。しばしば茶色味がかかるピンク色を呈する厚さ1mmから5mmほどの細粒の斜長石脈を挟む。本スカルンと珪灰石スカルンとの境界は波状の曲線の形態を持ち、両者は接する。本スカルンの構造の一部には垂角礫状の構造も認められる。

②珪灰石スカルン

本スカルンは、白色の珪灰石を主体として幅数cmから最大1mで、前述の単斜輝石スカルンと接して分布する。露頭中央部付近からペグマタイト・アプライトが存在する部分には、本スカルンは認められない(図2)。珪灰石の結晶は、粗粒繊維状を呈し、長さ3~4cmの結晶も存在する。繊維状珪灰石結晶の伸張方向は、本スカルンと単斜輝石スカルンとの境界に平行

表1 各スカルンの鉱物組み合わせ

鉱物名	火成岩		脈状スカルン			縞状スカルン			
	Gr	Ap	Ga-Cpx	Ga	Cpx	Cpx-Wo	Cpx-Ch	Ls	Hf
石英 (Quartz)	+++	+	++	++	++	++	+++		+++
カリ長石 (Feldspar)	+++	+++							
斜長石 (Plagioclase)	+	+				+	+		
黒雲母 (Biotite)	+								+++
電気石 (Tourmaline)									++
珪灰石 (Wollastonite)			+		+	+++			
単斜輝石 (Clinopyroxene)			+++	+	+++	+++	+++		
柘榴石 (Garnet)			++	+++	+				
ベスブ石 (Vesuvianite)			+			+			
透緑閃石 (Actinolite)			+						
鉄バスタム石 (Ferrobustamite)					+				
緑泥石 (Chlorite)	++								
くさび石 (Sphene)		+							
ジルコン (Zircon)		+							
ルチル (Rutile)	+								
燐灰石 (Apatite)		+	+		+				++
方解石 (Calcite)			++	++	++	++	+	+++	
灰重石 (Scheelite)			+++	+	++	+			
磁硫鉄鉱 (Pyrrhotite)			+		+		+		
黄銅鉱 (Chalcopyrite)			+		+		+		
閃亜鉛鉱 (Sphalerite)			+		+		+		
方鉛鉱 (Galena)					+				
硫砒鉄鉱 (Arsenopyrite)			+		+				
針ニッケル鉱 (Millerite)							+		
ゲスドルフ鉱 (Gersdorffite)			+				+		
輝コバルト鉱 (Cobaltite)					+				
自然蒼鉛 (Native bismuth)			+		+				
ヘドレアイト (Hedleyite)			+		+				
ヘッサイト (Hessite)					+				
エレクトラム (Electrum)					+				

Gr ; 花崗岩, Ap ; アプライト, Ga-Cpx ; 単斜輝石-柘榴石スカルン, Ga ; 柘榴石スカルン, Cpx ; 単斜輝石スカルン, Wo ; 珪灰石スカルン, Ch ; チャート, Ls ; 石灰岩, Hf ; ホルンフェルス, +++ ; 多量, ++ ; 普通, + ; 少量

に配列することが多い。本スカルンを切る幅 2 mm ~ 5 mm のベスブ石の細脈が認められる。灰重石は、稀に鉱染状に微量産出する。

③再結晶質チャート

灰白色半透明で主として粗粒石英からなり、単斜輝石スカルンと接し縞状から塊状の産状で分布する (図2)。本岩石には、一定方向の数 cm 間隔の細かいクラックや部分的には空隙も認められる。本岩石は脆く、ハンマーで容易に砕くことができる。

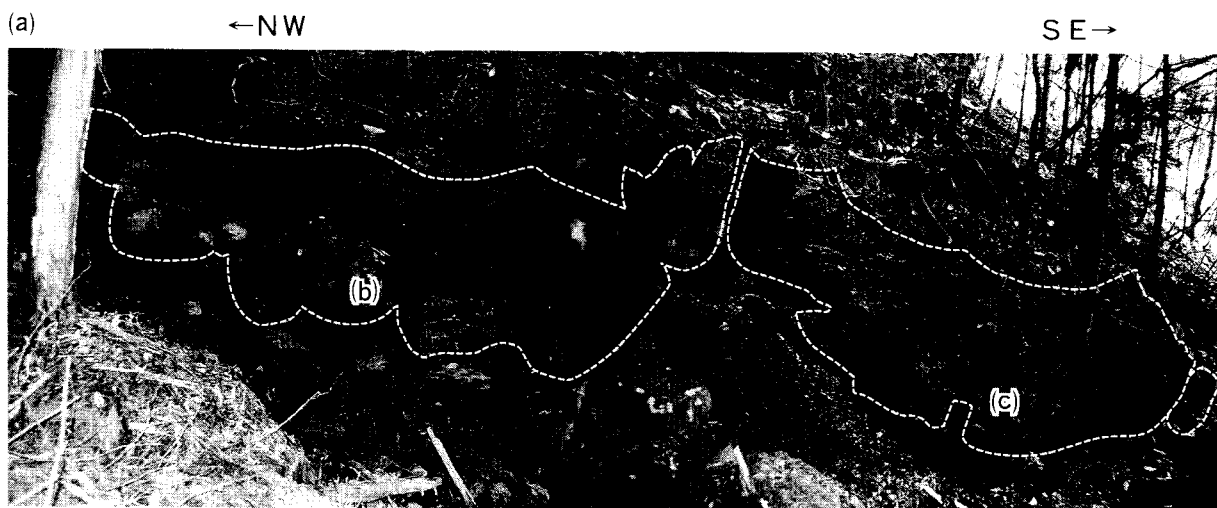
④再結晶質石灰岩

白色の再結晶質石灰岩が露頭の数ヶ所で少量認められる。方解石の粒径は 1 mm ~ 3 mm で、炭質物のような

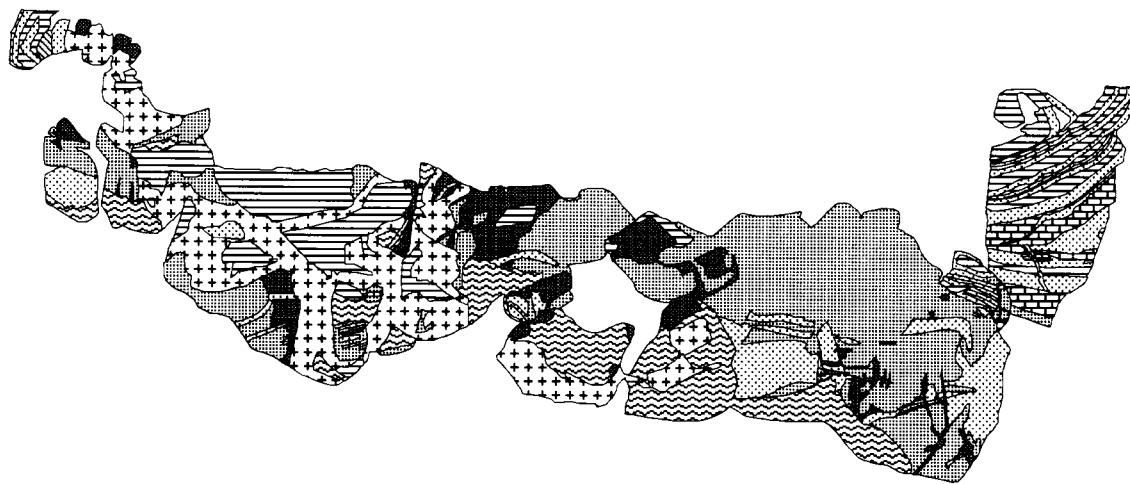
不純物は肉眼では認められない。本岩石は珪灰石スカルンが薄くなり消滅するところに分布する傾向があり、その多くは露頭の中央付近にみられる (図2)。

(2) 脈状スカルン

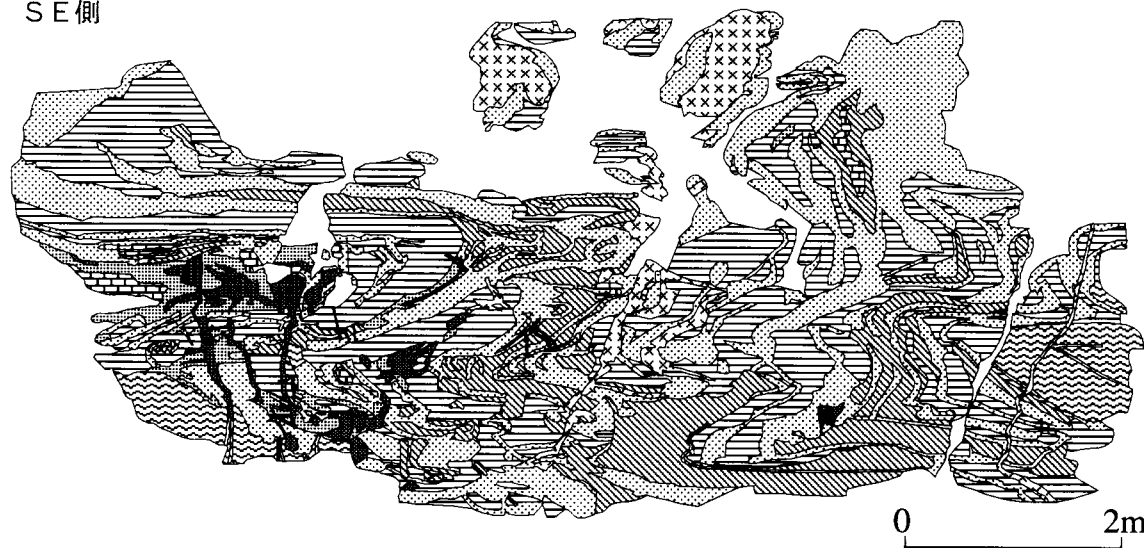
露頭の北西側のペグマタイト質花崗岩類の存在する部分から中央付近にかけては前述の縞状スカルンを切ったり、交代して、塊状の灰鉄輝石からなる単斜輝石スカルン、柘榴石-単斜輝石 (灰鉄輝石) スカルン、脈状の柘榴石スカルン、少量のベスブ石スカルンが分布する (図2)。露頭下部には、これら脈状スカルンと接してホルンフェルスが分布し、接触部付近から脈状



(b) NW側



(c) SE側



- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|----|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 |
|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|----|

図2 春日山鉱床の露頭写真(a)とそのスケッチ(b, c) 写真上にスケッチb, cの位置を示す。
 1: 柘榴石に富む部分, 2: ベスブ石に富む部分, 3: 柘榴石-単斜輝石(灰鉄輝石)スカルン & 単斜輝石スカルン,
 4: アプライト, 5: 花崗岩, 6: 単斜輝石(透輝石)スカルン, 7: 珪灰石スカルン, 8: ホルンフェルス,
 9: 再結晶質石灰岩, 10: 再結晶質チャート

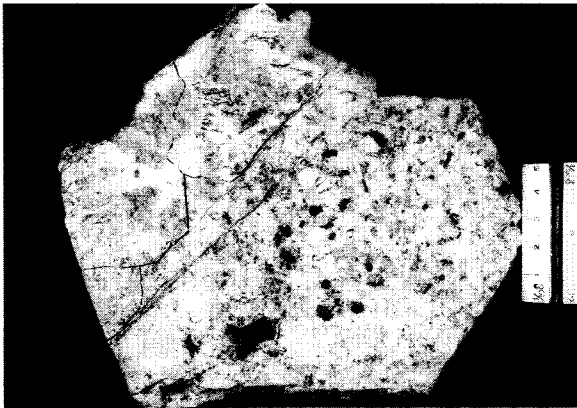


図3 露頭北西部にみられるペグマタイト質花崗岩脈のスラブ写真

の柘榴石スカルの発達が認められる(図2)。

①単斜輝石スカルン

本スカルンは、主として濃緑色の灰鉄輝石の塊状集合体よりなる。本スカルン中には前述の縞状スカルンを構成する珪灰石スカルンおよび再結晶質チャートは認められず、縞状単斜輝石スカルンがわずかに残存する。灰鉄輝石は、石英を伴い最大長径8mmの粗粒なものと石英を伴わず長径1mmに満たない細粒なものが縞状に存在する。灰重石が鉍染状に本スカルン中に認められる。

②柘榴石-単斜輝石(灰鉄輝石)スカルン

本スカルンは、単斜輝石、柘榴石からなるスカルンで石英、灰重石、方解石などを伴う。柘榴石は単斜輝石中に長径0.5~10mmの他形~半自形粒状若しくは幅数mmの脈状で産出し、石英と共に単斜輝石を切る。本スカルンは、やや茶色味がかった白色の縞状単斜輝石スカルンを挟むが、縞状スカルンを構成する珪灰石スカルン及び再結晶質チャートは一般に肉眼では認められない。本スカルン中には、粒状の灰重石が柘榴石と単斜輝石の境界に存在することが多い。また、灰重石の単結晶中に単斜輝石の結晶を含むものもあり、灰重石は単斜輝石、柘榴石と密接に存在する。

③柘榴石スカルン

本スカルンは、赤褐色でグロッシュラーからパイラルスパイト成分を持つ柘榴石が卓越した脈状のスカルンである。産状は、ホルンフェルス、縞状単斜輝石スカルンのクラックを充填し、脈状単斜輝石スカルンを切る。随伴鉍物は、主に石英である。本スカルン中には灰重石は認められない。

④ベスブ石スカルン

露頭南東側の縞状スカルン部では、脈状のベスブ石スカルンが少量存在する。本スカルンは、珪灰石スカ

ルン中では幅3mm~5mmの褐色で脈状を呈し産出する。また本スカルンは、露頭下部の透輝石スカルン中にも存在し、長径20cm前後の青灰色のスポット状を呈する。スポット状ベスブ石スカルンは、最大15mm前後の柱状結晶を伴い、細粒の灰バン柘榴石を伴う。また、スポット状ベスブ石スカルン周辺には細粒の灰重石が分布する。

4. スカルン鉍物と鉍石鉍物の産状と共生関係

本鉍床より産出する鉍石鉍物および脈石鉍物について顕微鏡下での観察、X線粉末回折法およびEPMAを用いた検討を行った。春日山鉍床の主要構成鉍物は、単斜輝石と柘榴石である。主な鉍石鉍物は、灰重石であり、磁硫鉄鉍、黄銅鉍、閃亜鉛鉍、方鉛鉍、硫砒鉄鉍、ゲルスドルフ鉍、輝コバルト鉍、針ニッケル鉍、自然蒼鉛、ヘドレアイト、ヘッサイト、エレクトラムも鉍石鉍物として認められた(表1)。灰重石以外の鉍石鉍物では、磁硫鉄鉍が最も多く、それ以外のものの存在量はさらに少ない。それぞれの鉍物の特徴は、次のとおりである。

(1) スカルン鉍物の産状および共生鉍物

①単斜輝石(Clinopyroxene)

本鉍物は、縞状スカルンと脈状スカルンでは異なる産状と化学組成を示す。縞状スカルンでは、最大粒径30μm以下の細粒の単斜輝石が密集し、緻密な単斜輝石スカルンを構成する。共生鉍物には、石英と方解石が少量存在する。縞状スカルンでの化学組成は、灰鉄輝石成分、ヨハンセン輝石成分、透輝石成分の各端成分はそれぞれ12.5~19.6mol.%, 1.5~3.0mol.%, 77.3~86.0mol.%で、透輝石成分が卓越する(図4, 表2)。一方、脈状スカルンでは、本鉍物は粗粒で自形~他形を呈し、石英・方解石・(柘榴石)と共生して単斜輝石スカルン、柘榴石-単斜輝石スカルンを構成する。脈状スカルンでの本鉍物の化学組成は、灰鉄輝石成分、ヨハンセン輝石成分、透輝石成分の各端成分が、単斜輝石スカルン中ではそれぞれ78.5~83.8mol.%, 9.1~18.0mol.%, 3.3~11.6mol.%, 柘榴石-単斜輝石スカルン中では70.6~82.1mol.%, 5.9~14.3mol.%, 9.7~19.8mol.%, 脈状スカルン中に見られる柘榴石脈周辺部では55.0~79.7mol.%, 6.0~11.5mol.%, 11.3~39.1mol.%で、縞状スカルンとは対照的に灰鉄輝石成分が卓越する(図4, 表2)。本鉍物の化学組成は、脈状スカルン中に見られる柘榴石脈周辺部から柘榴石-単斜輝石スカルン、単斜輝石

表2 单斜輝石の化学組成

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim
SiO ₂	50.75	50.58	50.14	49.41	49.41	55.10	50.08	48.37	48.37	53.27	53.55	47.48	46.97	48.38	47.28	47.88	49.94	49.68				
Al ₂ O ₃	0.21	0.15	0.15	0.19	0.20	0.28	0.14	0.23	0.20	0.13	0.09	0.13	0.18	0.17	0.20	0.09	0.16	0.14				
FeO	22.67	22.57	22.77	22.12	22.05	3.43	4.11	23.78	23.41	4.90	4.44	24.40	25.32	23.14	22.71	23.89	23.65	21.25				
MnO	1.74	2.03	3.29	3.15	3.26	0.53	3.10	3.19	3.22	3.10	3.19	3.24	3.20	2.61	5.13	2.26	2.06	3.10				
MgO	3.13	3.26	1.95	2.37	2.54	16.07	15.57	1.09	1.55	15.12	15.26	0.80	1.05	1.89	0.54	1.87	1.73	3.21				
CaO	22.42	22.81	21.47	22.90	22.82	25.46	25.72	23.61	23.53	25.49	25.70	22.98	21.45	22.80	22.49	22.43	21.58	22.11				
Total	100.91	101.40	99.77	100.13	100.28	101.47	101.51	101.92	100.20	100.03	99.54	99.66	98.18	98.99	98.36	98.42	99.13	99.50				
Numbers of ions on the basis of 6O																						
Si	2.02	2.01	2.03	2.00	1.99	2.01	2.00	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98	1.98	1.99	1.98	1.99	2.03	2.01				
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00				
Al	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01				
Fe ²⁺	0.75	0.75	0.77	0.75	0.74	0.10	0.77	0.80	0.80	0.15	0.14	0.85	0.89	0.80	0.80	0.83	0.81	0.72				
Mn	0.06	0.07	0.11	0.11	0.11	0.02	0.02	0.11	0.11	0.02	0.02	0.11	0.11	0.09	0.11	0.08	0.07	0.11				
Mg	0.19	0.19	0.12	0.14	0.15	0.86	0.84	0.07	0.09	0.84	0.84	0.05	0.07	0.12	0.13	0.12	0.10	0.19				
Ca	0.95	0.97	0.93	0.99	0.99	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.02	1.02	0.97	1.00	1.01	1.00	0.94	0.96				
Mol.% of end members																						
Fe %	75.54	74.15	76.98	74.90	73.80	10.52	12.60	82.05	79.86	79.78	15.08	13.76	83.83	83.20	79.38	78.67	80.95	82.06				
Mn %	5.87	6.76	11.27	10.80	11.05	1.65	2.30	11.25	10.71	11.13	1.96	1.95	11.27	10.65	9.07	18.00	7.76	7.24				
Mg %	18.59	19.09	11.75	14.30	15.15	87.83	85.10	6.70	9.42	9.09	82.95	84.29	4.90	6.15	11.56	3.33	11.29	10.70				
Mg %	9.50	9.74	6.09	7.17	7.66	43.91	42.33	3.28	4.65	4.45	41.37	41.72	2.44	3.23	5.77	1.67	5.72	5.46				
Fe(+Mn) %	41.60	41.28	45.73	42.99	42.89	6.08	7.41	45.65	44.65	44.50	8.50	7.77	47.28	49.32	44.18	48.38	44.94	45.58				
Ca %	48.90	48.98	48.19	49.83	49.46	50.01	50.26	51.07	50.70	51.05	50.13	50.51	50.28	47.45	50.95	49.33	48.96	48.47				
Numbers of ions on the basis of 6O																						
SiO ²	48.49	54.64	49.76	49.66	53.43	52.30	48.41	48.41	51.31	52.90	52.94	49.80	50.70	54.93	54.73	55.35	54.56					
Al ₂ O ₃	0.14	0.22	0.16	0.20	0.29	0.47	0.15	0.15	0.20	0.22	0.25	0.19	0.13	0.22	0.25	0.27	0.30					
FeO	20.97	5.72	21.82	21.76	5.14	4.02	23.97	23.97	19.31	5.05	5.04	23.80	22.16	22.29	4.04	6.19	4.37	4.19				
MnO	3.20	1.01	4.05	1.90	0.73	0.98	2.56	2.56	3.29	1.05	1.01	2.58	2.69	2.70	0.48	0.95	0.87	0.90				
MgO	3.04	14.18	1.56	3.27	14.85	14.75	1.97	1.97	3.52	15.01	15.01	1.61	2.68	2.60	15.56	13.70	15.39	15.14				
CaO	22.42	25.91	23.63	22.76	25.61	25.53	22.54	22.54	23.00	24.39	24.17	23.80	21.26	21.24	26.16	26.03	23.27	23.34				
Total	98.27	101.68	100.97	99.55	100.04	98.05	99.61	99.61	100.63	98.71	98.42	101.77	100.00	99.66	101.39	101.85	99.52	98.42				
Numbers of ions on the basis of 6O																						
Si	1.99	2.00	2.00	2.00	1.98	1.97	1.98	1.98	2.03	1.98	1.99	1.99	2.04	2.04	1.99	2.00	2.03	2.03				
Al	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00				
Al	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01				
Fe ²⁺	0.72	0.17	0.73	0.73	0.16	0.13	0.82	0.82	0.64	0.16	0.16	0.80	0.74	0.75	0.12	0.19	0.13	0.13				
Mn	0.11	0.03	0.14	0.06	0.02	0.03	0.09	0.10	0.11	0.03	0.03	0.09	0.09	0.09	0.01	0.03	0.03	0.03				
Mg	0.19	0.77	0.09	0.20	0.82	0.83	0.12	0.12	0.21	0.84	0.84	0.10	0.16	0.16	0.84	0.75	0.84	0.84				
Ca	0.99	1.01	1.02	0.98	1.02	1.03	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97	1.02	0.91	0.92	1.02	1.02	0.92	0.93				
Mol.% of end members																						
Fe %	70.77	17.87	76.02	73.73	15.89	12.84	79.70	79.46	66.78	15.29	15.36	81.28	74.71	75.16	12.52	19.61	13.37	13.06				
Mn %	10.94	3.20	14.29	6.52	2.29	3.17	8.62	9.25	11.52	3.22	3.12	8.92	9.19	9.22	1.51	3.05	2.70	2.84				
Mg %	18.29	78.94	9.69	19.75	81.82	83.99	11.67	11.29	21.70	81.49	81.52	9.80	16.10	15.62	85.97	77.34	83.93	84.10				
Mg %	9.29	38.76	4.71	9.93	40.62	41.07	5.96	5.79	10.75	41.87	41.94	4.80	8.39	8.15	42.16	37.61	43.89	43.53				
Fe(+Mn) %	41.49	10.34	43.95	40.37	9.02	7.83	45.06	45.51	38.78	9.51	44.19	43.73	44.00	44.00	6.88	11.02	8.40	8.23				
Ca %	49.22	50.90	51.33	49.70	50.36	51.10	48.99	48.69	50.47	48.62	48.55	51.01	47.87	47.85	50.96	51.37	47.71	48.24				

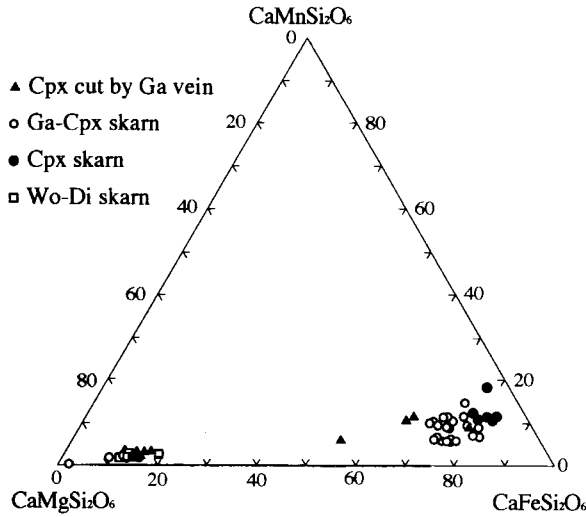


図4 スカルン中の単斜輝石の化学組成

Ga: 柘榴石, Cpx: 単斜輝石, Wo: 珪灰石, Di: 透輝石

スカルンへ向かって、灰鉄輝石・ヨハンセン輝石成分がわずかに増加し、透輝石成分が減少する傾向がみられる(図4)。灰重石が多く存在する脈状スカルンの柘榴石-単斜輝石スカルン中では、脈状スカルンに島状に残存する縞状スカルン中の本鉱物の化学組成は、周囲の縞状スカルンのものと比べ、灰鉄輝石成分・ヨハンセン輝石成分が減少し、透輝石成分が増加する組成変化を示している(図4)。

②鉄バスタム石 (Ferrobastamite)

本鉱物は、再結晶質石灰岩と脈状スカルンの境界部に産する。詳細な産状としては、脈状スカルンの柘榴石-単斜輝石スカルンとその中に島状に残存した縞状スカルン(珪灰石-単斜輝石スカルン)との境界部付近に存在する(図5)。共生鉱物は、珪灰石・単斜輝石・方解石・灰重石である。本鉱床産鉄バスタム石のFeSiO₃分子、MnSiO₃分子、MgSiO₃分子、CaSiO₃分子の各端成分は、それぞれ11.7mol.%, 7.2mol.%, 1.6mol.%, 79.5mol.%で、松枝(1981)の分析値とよい一致が認められる(図6, 表3)。本鉱物のMnO含有量は、都茂鉱山丸山鉱床産鉄バスタム石(松枝, 1981)と比較してかなり高い値を示す(図6)。

③柘榴石 (Garnet)

本鉱物は、脈状スカルンの柘榴石-単斜輝石スカルン中に存在する他、縞状スカルン、ホルンフェルスも切って脈状に存在する。主な共生鉱物は、石英・方解石・単斜輝石である。本鉱床産柘榴石の灰バン柘榴石成分、灰鉄柘榴石成分、パイラルスパイト成分の各端成分は、柘榴石脈中ではそれぞれ、48.5~82.6mol.%, 2.7~8.0mol.%, 10.3~48.9mol.%、脈状スカルンの

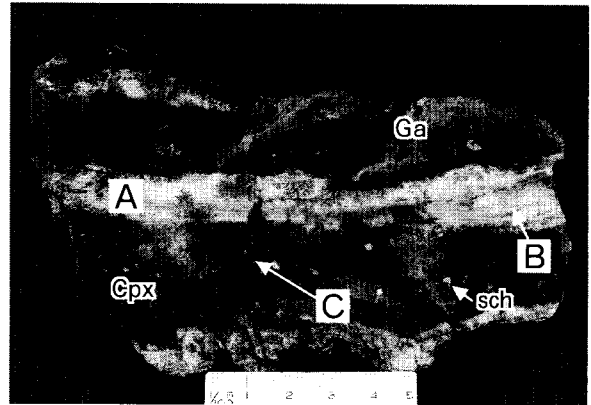


図5 鉄バスタム石の産状

A: 縞状スカルン, B: 鉄バスタム石が見いだされた部分, C: 脈状スカルン, Cpx: 単斜輝石, Ga: 柘榴石, sch: 灰重石

表3 鉄バスタム石および共生する単斜輝石・珪灰石の化学組成

	1	2	3	4	5	6
	Fb	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Wo
SiO ₂	50.69	48.74	50.14	49.30	49.66	52.24
TiO ₂	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.01
Al ₂ O ₃	0.00	0.27	0.20	0.18	0.15	0.00
Cr ₂ O ₃	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
FeO	7.03	24.16	22.75	25.27	24.25	0.21
MnO	4.31	5.16	3.23	4.06	3.74	0.28
MgO	0.54	0.40	2.57	1.18	1.23	0.06
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
CaO	37.46	23.21	23.23	22.71	23.13	47.77
Na ₂ O	0.00	0.03	0.05	0.07	0.09	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.07	102.03	102.17	102.77	102.39	100.56
Numbers of ions on the basis of 24 oxygens						
SiO ₂	8.01	7.90	7.96	7.91	7.95	8.03
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.05	0.04	0.03	0.03	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.93	3.27	3.02	3.39	3.25	0.03
MnO	0.58	0.71	0.43	0.55	0.51	0.04
MgO	0.13	0.10	0.61	0.28	0.29	0.01
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
CaO	6.34	4.03	3.95	3.90	3.97	7.87
Na ₂ O	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mol.% of end-members						
CaSiO ₃	79.5	49.7	49.3	48.0	49.5	99.0
MnSiO ₃	7.2	8.7	5.4	6.8	6.3	0.5
FeSiO ₃	11.7	40.4	37.7	41.7	40.5	0.3
MgSiO ₃	1.6	1.2	7.6	3.5	3.7	0.2

Fb: 鉄バスタム石, Cpx: 単斜輝石, Wo: 珪灰石

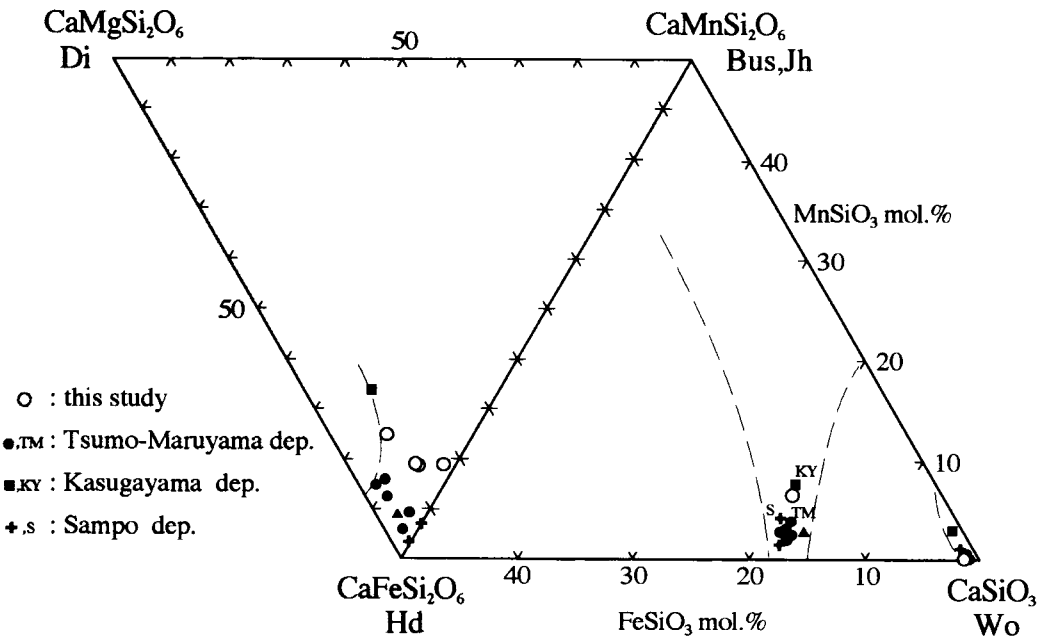


図6 鉄バスタム石および共生する単斜輝石・珪灰石の化学組成 TM, KY, Sは松枝 (1981).

柎榴石の卓越する部分では、54.6~86.4mol.%, 3.1~6.9mol.%, 8.0~38.9mol.%, 灰重石を多量に伴う脈状スカルの柎榴石-単斜輝石スカルン中では、42.1~75.8mol.%, 2.0~6.8mol.%, 17.4~55.9mol.%である(図7, 表4). 本鉍床産柎榴石は、全体として組成変動の幅は広いが、灰バン柎榴石成分が高く、灰鉄柎榴石成分に乏しい。また、わずかではあるが、脈状スカルの柎榴石-単斜輝石スカルン中では、柎榴石脈や柎榴石の卓越する部分に比べ、灰バン柎榴石成分・灰鉄柎榴石成分が低下し、パイラルス

パイト成分の割合が上昇する傾向がみられる(図7).

(2) 鉍石鉍物の産状および共生鉍物

①灰重石 (Scheelite)

春日山鉍床の主要な鉍石鉍物である灰重石は、脈状スカルンを構成する単斜輝石スカルンと柎榴石-単斜輝石スカルン中に普遍的に存在するのに加え、縞状スカルンを切るアプライト周辺の珪灰石スカルン中にも微量に存在する。脈状スカルンに伴う本鉍物は、白色で粒径1mm以下~最大10mmの自形ないし半自形の角粒状を呈し、一般に灰鉄輝石と密接に存在する。また、単斜輝石スカルン中に柎榴石脈が存在する場合には、両者の境界部に灰重石が多く認められる。本鉍床産灰重石は、Moをほとんど含有しない(表5).

②磁硫鉄鉍 (Pyrrhotite)

脈状スカルンに一般的に存在する硫化鉍物である。脈状単斜輝石スカルンでは肉眼で存在を確認できる。鏡下ではスカルン鉍物の粒間を埋める組織を示し、閃亜鉛鉍・黄銅鉍・自然ビスマス・ヘドレアイト・エレクトラムと共生する。縞状スカルンを構成する単斜輝石スカルンの中に含まれる本鉍物は、アプライトとの境界部付近に黄銅鉍・針ニッケル鉍と密接に共生し、鉍染状に認められ、異方性が非常に強くNi, Asを少量含む。

③黄銅鉍 (Chalcopyrite)

黄銅鉍は脈状スカルンを構成する単斜輝石スカルン、

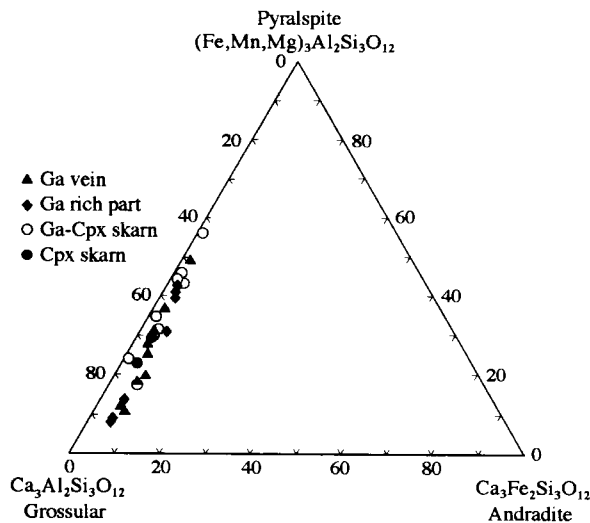


図7 スカルン中の柎榴石の化学組成

Ga : 柎榴石, Cpx : 単斜輝石

表4 柘榴石の化学組成

skarn type	Cpx		Ga-Cpx										Ga rich						
sample	1a	1b	2		3		4		5a	5b	5c	6a	6b	7		8		9a	
			core	rim	core	rim	core	rim	core					core	rim	core	rim	core	rim
SiO ₂	39.60	39.29	37.94	39.33	38.62	39.24	39.14	37.95	37.30	38.26	38.41	39.79	38.56	38.92	37.60	39.12	38.90		
Al ₂ O ₃	20.57	20.04	20.09	21.26	19.90	20.05	19.92	19.92	20.07	19.97	20.09	20.62	19.98	20.14	20.05	19.84	20.26		
FeO	6.04	6.73	10.66	6.23	5.15	8.42	9.31	13.08	11.31	11.39	7.50	9.21	3.03	3.00	8.47	10.19	10.10		
Fe ₂ O ₃	2.00	1.98	2.49	0.88	2.78	2.20	2.11	1.52	1.48	1.65	2.07	1.23	2.50	2.40	3.30	2.46	1.80		
MnO	4.39	6.56	9.39	4.63	3.01	5.15	4.97	11.77	8.30	8.89	5.96	6.48	2.98	3.17	6.16	7.56	9.24		
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.03	0.05	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00	0.10	0.02		
CaO	28.57	25.41	20.90	27.78	30.34	25.49	24.62	15.45	19.76	19.28	25.43	23.41	31.76	31.72	26.24	22.12	20.75		
Total	101.17	100.01	101.47	100.12	99.80	100.58	100.08	99.72	98.25	99.50	99.50	100.75	98.81	99.37	101.82	101.15	100.89		
Numbers of ions on the basis of 24O																			
SiO ₂	6.05	6.10	5.93	6.05	5.98	6.07	6.09	6.06	5.99	6.06	6.01	6.13	6.00	6.01	5.83	6.06	6.06		
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00		
Al ₂ O ₃	3.70	3.67	3.64	3.85	3.62	3.65	3.65	3.75	3.79	3.73	3.71	3.75	3.66	3.67	3.49	3.62	3.72		
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.29	0.10	0.32	0.26	0.25	0.18	0.18	0.20	0.24	0.14	0.29	0.28	0.39	0.29	0.21		
FeO	0.77	0.87	1.39	0.80	0.67	1.09	1.21	1.75	1.52	1.51	0.98	1.19	0.39	0.39	1.10	1.32	1.31		
MnO	0.57	0.86	1.24	0.60	0.39	0.67	0.65	1.59	1.13	1.19	0.79	0.85	0.39	0.41	0.81	0.99	1.22		
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00		
CaO	4.67	4.22	3.50	4.57	5.04	4.22	4.10	2.64	3.40	3.27	4.27	3.87	5.29	5.25	4.36	3.67	3.46		
Mol.% of end-members																			
Pyr.	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.12	0.04	0.12	0.12	0.20	0.15	0.08	0.00	0.08	0.00	0.38	0.08		
Alm.	12.82	14.65	22.71	13.39	10.94	18.17	20.29	29.17	25.09	25.21	16.24	20.10	6.48	6.41	17.53	21.98	21.91		
Spes.	9.44	14.47	20.26	10.08	6.48	11.25	10.97	26.58	18.65	19.93	13.07	14.33	6.46	6.85	12.91	16.52	20.31		
Gro.	73.19	66.68	52.78	74.53	75.79	65.85	64.36	42.08	53.62	51.92	66.19	63.09	80.61	80.55	62.66	56.64	54.59		
And.	4.55	4.21	4.25	1.97	6.79	4.62	4.35	2.05	2.53	2.74	4.35	2.40	6.45	6.12	6.91	4.48	3.10		

skarn type	Ga rich				Ga vein													
sample	9b	10a	10b	10c	11a	11b	11c	11d	11e	12a	12b		12c		12d			
					rim		rim		core	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	
SiO ₂	39.28	38.49	38.59	38.53	39.68	40.07	38.94	40.09	39.80	39.53	39.29	39.46	39.70	39.03	38.43	39.12		
Al ₂ O ₃	20.03	21.06	21.01	20.94	20.45	20.36	20.15	20.46	20.35	19.78	19.49	19.55	20.50	20.63	20.30	20.09		
FeO	9.51	1.77	1.77	1.89	7.99	2.05	8.90	2.37	2.48	6.04	5.27	5.37	7.78	8.10	9.51	4.98		
Fe ₂ O ₃	2.09	2.04	2.09	2.15	1.87	2.95	1.76	2.41	2.37	2.44	3.37	3.31	2.09	2.16	1.75	2.85		
MnO	9.09	2.20	2.05	2.53	6.05	2.83	13.02	2.86	3.05	5.28	3.69	3.69	4.94	4.91	7.14	3.33		
MgO	0.07	0.01	0.00	0.00	0.08	0.04	0.15	0.03	0.00	0.03	0.02	0.00	0.05	0.03	0.04	0.04		
CaO	21.27	34.48	34.61	34.10	25.24	33.85	18.27	32.99	32.56	27.14	29.83	29.79	26.71	26.83	22.83	30.57		
Total	101.13	100.04	100.12	100.15	101.16	101.84	101.00	100.97	100.37	100.24	100.96	101.17	101.77	101.69	100.01	100.98		
Numbers of ions on the basis of 24O																		
SiO ₂	6.09	5.89	5.90	5.90	6.08	6.01	6.08	6.06	6.05	6.10	6.03	6.04	6.05	5.98	6.02	5.99		
Al ₂ O ₃	0.00	0.11	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		
Al ₂ O ₃	3.66	3.69	3.69	3.68	3.69	3.60	3.71	3.64	3.65	3.60	3.53	3.53	3.68	3.70	3.75	3.61		
Fe ₂ O ₃	0.24	0.23	0.24	0.25	0.22	0.33	0.21	0.27	0.27	0.28	0.39	0.38	0.24	0.25	0.21	0.33		
FeO	1.23	0.23	0.23	0.24	1.02	0.26	1.16	0.30	0.32	0.78	0.68	0.69	0.99	1.04	1.25	0.64		
MnO	1.19	0.29	0.27	0.33	0.79	0.36	1.72	0.37	0.39	0.69	0.48	0.48	0.64	0.64	0.95	0.43		
MgO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01		
CaO	3.53	5.65	5.67	5.59	4.14	5.44	3.06	5.34	5.31	4.49	4.91	4.89	4.36	4.40	3.83	5.01		
Mol.% of end-members																		
Pyr.	0.27	0.04	0.00	0.00	0.31	0.15	0.58	0.11	0.00	0.12	0.08	0.00	0.19	0.11	0.15	0.15		
Alm.	20.64	3.67	3.66	3.93	17.14	4.23	19.45	4.97	5.24	13.07	11.15	11.37	16.52	17.05	20.65	10.46		
Spes.	19.97	4.62	4.31	5.32	13.15	5.93	28.82	6.09	6.53	11.57	7.91	7.90	10.62	10.47	15.70	7.09		
Gro.	55.43	86.19	86.38	85.01	65.57	82.10	48.45	82.63	82.12	69.74	72.83	72.86	68.23	67.81	60.18	75.46		
And.	3.68	5.48	5.65	5.74	3.83	7.60	2.70	6.20	6.10	5.50	8.03	7.87	4.44	4.56	3.32	6.84		

表5 灰重石の化学組成

	wt.%	mol.%
CaO	18.95	48.68
WO ₃	80.23	49.88
MoO ₃	0.07	0.07
Total	99.25	

analyst: Tezuka, T.

柘榴石-単斜輝石スカルンとその周辺部の縞状スカルンを構成する単斜輝石スカルンに存在する。本鉱物は多くの場合閃亜鉛鉱・磁硫鉄鉱と共生するが、脈状ス

カルン部ではヘドレアイトを包有し、閃亜鉛鉱-磁硫鉄鉱-ヘドレアイト-黄銅鉱の共生を示す。一方、縞状スカルン部の単斜輝石スカルンでは、黄銅鉱と共生する閃亜鉛鉱中には本鉱物が点滴状にしばしば存在し、病変状組織を呈する。

④閃亜鉛鉱 (Sphalerite)

閃亜鉛鉱は脈状スカルンの単斜輝石スカルンと柘榴石-単斜輝石スカルンおよびアプライト付近の縞状スカルンの単斜輝石スカルンに存在する。本鉱物は、脈状スカルン部では最大粒径1mm程度で不規則他形を呈

表6 閃亜鉛鉱の化学組成

	1a	1b	2	3a	3b	3c	3d	3e	4a	4b	4c	5a	5b
	core	rim		core	rim				core	rim		core	rim
Zn	55.35	56.42	56.32	52.31	52.75	51.45	52.89	51.78	64.73	64.02	63.31	63.97	63.43
Fe	11.67	10.31	11.03	12.05	10.91	11.73	11.86	12.12	2.51	2.54	2.96	2.82	2.64
Mn	0.32	0.27	0.31	0.43	0.30	0.38	0.34	0.42	0.10	0.06	0.05	0.07	0.07
Cd	0.24	0.19	0.18	0.26	0.31	0.32	0.30	0.35	0.36	0.40	0.33	0.36	0.33
Cu	0.00	0.00	0.00	0.05	0.80	1.84	0.50	0.13	0.01	0.03	0.44	0.10	0.01
S	33.43	33.03	33.06	33.95	34.08	34.16	34.15	33.72	32.30	32.35	32.14	32.29	32.49
Total	101.00	100.22	100.90	99.05	99.15	99.89	99.59	98.53	100.00	99.40	99.24	99.61	98.98
at.%													
Zn	40.20	41.40	41.08	38.37	38.68	37.45	38.60	38.19	48.35	48.03	47.60	47.91	47.67
Fe	9.92	8.86	9.41	10.34	9.36	10.00	10.13	10.47	2.19	2.23	2.60	2.47	2.33
Mn	0.27	0.24	0.27	0.38	0.26	0.33	0.29	0.37	0.09	0.05	0.05	0.07	0.06
Cd	0.10	0.08	0.08	0.11	0.13	0.14	0.13	0.15	0.16	0.18	0.15	0.16	0.15
Cu	0.00	0.00	0.00	0.04	0.60	1.38	0.04	0.10	0.01	0.02	0.34	0.08	0.01
S	49.51	49.42	49.16	50.77	50.96	50.71	50.82	50.72	49.20	49.49	49.26	49.32	49.79
mol.%													
FeS	19.65	17.52	18.51	21.00	19.09	20.28	20.59	21.25	4.31	4.41	5.12	4.87	4.64
MnS	0.53	0.47	0.53	0.77	0.53	0.67	0.59	0.75	0.18	0.10	0.10	0.14	0.12
CdS	0.20	0.16	0.16	0.22	0.27	0.28	0.26	0.30	0.31	0.36	0.30	0.32	0.30

し、磁硫鉄鉱・黄銅鉱・方鉛鉱と密接に共生する。一方、縞状スカム部においては最大粒径 $90\mu\text{m}$ の不規則粒状を呈し、黄銅鉱・ゲスドルフ鉱と共生して鉱染状に存在する。近傍には磁硫鉄鉱・針ニッケル鉱も共存する。黄銅鉱と直接共生する本鉱物中には、 $4\mu\text{m}$ 以下の多数の点滴状の黄銅鉱が認められる。本鉱物産閃亜鉛鉱のFeS, MnS, CdS含有量は、脈状スカム部ではそれぞれ17.7~20.9mol.%, 0.5~0.8mol.%, 0.2~0.3mol.%, 縞状スカム部では4.4~5.2mol.%, 0.1~0.2mol.%, 0.3~0.4mol.%である(表6)。縞状スカム部の閃亜鉛鉱のFeS含有量は、脈状スカム部のFeS含有量より低い。脈状スカム部のFeS含有量は、Shimazaki and Shimizu (1984)の本鉱物産閃亜鉛鉱のFeS含有量(19.67~26.14mol.%)と比較すると、若干低いほぼ類似する。CdS含有量については、Shimazaki and Shimizu (1984)の0.36~0.52mol.%と比較し、縞状スカム部、脈状スカム部ともに低い値を示したが、特に脈状スカム部での含有量が低くなっている。

⑤方鉛鉱 (Galena)

方鉛鉱は再結晶質石灰岩に接する脈状スカム部周辺の単斜輝石スカム中に存在する。本鉱物は、最大粒径 $10\mu\text{m}$ の不規則な粒状を呈し、閃亜鉛鉱・黄銅鉱と密接に共生する。

⑥硫砒鉄鉱 (Arsenopyrite)

硫砒鉄鉱は、脈状スカムを構成する単斜輝石スカム

と柘榴石-単斜輝石スカム中に存在する。本鉱物は最大粒径 $350\mu\text{m}$ で、顕微鏡下での形態は半自形~不規則他形を呈し、灰鉄輝石の粒間を埋めてヘドライトと密接に共生する組織も認められる。硫砒鉄鉱の近傍には、閃亜鉛鉱と自然ビスマスも共存する。

春日山鉱物産の硫砒鉄鉱は、Co・Niをほとんど含まないものとCo含有量3.8~5.5 at.%, Ni含有量2.6~5.1 at.%含むものと2つに分けられる(表7)。本鉱物のAs含有量は、Co・Niをほとんど含まない本鉱物では33.1~33.2 at.%, Co・Niを含む本鉱物では34.9~36.8 at.%であった(表7)。

⑦針ニッケル鉱 (Millerite)

針ニッケル鉱は、アプライト付近の縞状スカムを構成する単斜輝石スカム中に存在する。本鉱物は、最大 $40\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}$ の針状を呈し、磁硫鉄鉱・黄銅鉱と密接に共生する。顕微鏡下の光学特性とEPMA定性分析結果により、本鉱物と同定した。

⑧ゲスドルフ鉱 (Gersdorffite)

ゲスドルフ鉱は、縞状スカムを構成する単斜輝石スカムのアプライトとの接触部付近と、脈状スカムを構成する柘榴石-単斜輝石スカムの花崗岩との接触部付近に存在する。本鉱物は、縞状スカムでは最大粒径 $100\mu\text{m}$ 程度で、顕微鏡下での形態は不規則他形~角粒状を呈し、多くは単独で存在する。本鉱物の一部は閃亜鉛鉱と共生する。Ni含有量は、31.3~32.2 at.%であった(表7)。一方、脈状スカム

表7 Fe-Co-Ni-As-S系鉱物の化学組成

	1a	1b	1c	2	3	4	5	6a	6b	6c	7	8	9	10
	core	rim	rim					core	rim	rim				
wt. %														
Fe	26.57	27.32	24.87	26.16	34.43	25.29	33.89	0.53	0.42	0.30	8.77	9.15	13.08	13.39
Ni	3.69	2.68	3.55	3.10	0.52	5.36	0.00	33.51	33.63	33.21	14.51	18.46	11.92	10.32
Co	4.19	4.46	5.05	5.83	0.10	4.06	0.00	0.11	0.11	0.18	12.16	8.23	11.56	12.49
As	47.44	47.83	47.98	48.09	46.01	49.51	44.76	47.69	47.54	49.47	46.39	46.08	45.53	46.00
Sb	0.03	0.06	0.09	0.05	0.03	0.06	0.12	0.21	0.16	0.24	0.05	0.09	0.07	0.07
S	18.31	17.26	18.32	17.66	19.57	16.74	19.25	19.00	18.04	18.25	19.32	19.06	19.03	19.41
Total	100.22	99.61	99.86	100.89	100.65	101.02	98.03	101.05	99.89	101.64	101.20	101.08	101.18	101.68
at. %														
Fe	26.22	27.37	24.68	25.83	33.29	25.21	33.61	0.52	0.42	0.29	8.57	8.96	12.76	12.98
Ni	3.46	2.55	3.36	2.91	0.47	5.08	0.00	31.49	32.17	31.33	13.48	17.19	11.06	9.51
Co	3.91	4.23	4.75	5.46	0.10	3.84	0.00	0.10	0.10	0.17	11.26	7.64	10.69	11.47
As	34.91	35.71	35.50	35.40	33.17	36.78	33.09	35.11	35.64	36.57	33.79	33.64	33.11	33.24
Sb	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.05	0.10	0.07	0.11	0.02	0.04	0.03	0.03
S	31.49	30.11	31.67	30.38	32.96	29.07	33.26	32.68	31.60	31.53	32.88	32.52	32.34	32.77

1-5: arsenopyrite; 6-8: gersdorffite; 9-10: glaucodot

ン中の本鉱物は、粒径30~40 μm程度の不規則他形を呈し、磁硫鉄鉱と密接に共生する。脈状スカルン中の本鉱物のNi含有量は、13.5~17.2 at.%で、縞状スカルンに存在するものに比べ低く、Fe、Coをそれぞれ8.6~9.0 at.%、7.6~11.3 at.%含有する(表7)。本鉱物の近傍には、Fe、Co、Niをほぼ等量ずつ含有するグロコドット(Glaucodot)が共存する(表7)。

⑨輝コバルト鉱(Cobaltite)

輝コバルト鉱は、再結晶質石灰岩に接する脈状スカルン周辺部の単斜輝石スカルン中に存在する。本鉱物は、粒径10 μm程度の半自形の角粒状を呈し、近傍には方鉛鉱・閃亜鉛鉱・黄銅鉱が共存する。顕微鏡下の光学特性とEPMA定性分析結果により、本鉱物と同定した。

⑩自然蒼鉛(Native bismuth)

自然蒼鉛は脈状スカルンの単斜輝石スカルンと柘榴石-単斜輝石スカルンに存在する。鏡下での形態は不規則他形を呈し、ヘドレアイト・エレクトラム・磁硫鉄鉱・黄銅鉱と密接に共生する(図8)。EPMAの定性分析でBi以外の成分が検出されないこと、表8に示したEPMAの定量分析結果がBi成分でほぼ100%となることから、自然蒼鉛であることが確認される。

⑪ヘドレアイト(Hedleyite)

ヘドレアイトは脈状スカルンに少量ではあるが普遍的に存在する。鏡下での形態は自然蒼鉛と同様に不規則粒状他形を呈し、自然蒼鉛・ヘッサイト・磁硫鉄鉱・黄銅鉱と密接に共生する。本鉱物中にはBiとTeがそれぞれ73.1~81.6 at.%、18.4~26.9 at.%含有する。

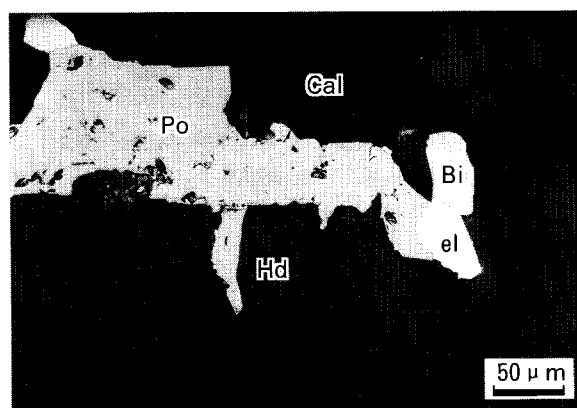


図8 単斜輝石スカルン中のエレクトラム・自然蒼鉛・磁硫鉄鉱の産状

el: エレクトラム, Bi: 自然蒼鉛, po: 磁硫鉄鉱, Hd: 灰鉄輝石, Cal: 方解石

原子数を20として計算した組成式は、 $Bi_{146}Te_{37-54}$ となり、理想式をほぼ満足しているものとBi/Teが高くなっているものが認められる(表8)。

⑫ヘッサイト(Hessite)

ヘッサイトは脈状スカルンを構成する単斜輝石スカルンに微量存在する。本鉱物は最大粒径25 μmで、角粒状を呈しヘドレアイトと密接に共生する。ヘッサイトの近傍には自然蒼鉛・磁硫鉄鉱も共存する。EPMAによる化学組成を表8に示した。

⑬エレクトラム(Electrum)

エレクトラムはヘッサイトと同様に脈状スカルンを構成する単斜輝石スカルンに極少量存在する。本鉱物は粒径50 μm程度の粒状を呈し、自然蒼鉛・ヘドレ

表8 Bi-Te-S系およびAg-Te-S系鉱物の化学組成

	1	2	3	4	5	6	7	8
wt%								
Bi	101.31	100.04	99.18	98.32	79.56	81.73	-	-
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	56.86	53.74
Te	0.00	0.00	0.03	0.00	17.90	18.39	42.46	41.58
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	-	-
Total	101.31	100.04	99.21	98.33	97.53	100.12	99.32	95.32
at.%								
Bi	100.00	100.00	99.95	100.00	81.58	73.08	-	-
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	61.3	60.45
Te	0.00	0.00	0.05	0.00	18.36	26.92	38.7	39.55
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	-	-

1-4: native bismuth; 5-6: hedleyite; 7-8: hessite

表9 エレクトラムの化学組成

	1a	1b	1c
	core	rim	rim
wt%			
Au	58.03	58.62	57.98
Ag	43.15	42.85	42.27
Total	101.18	101.48	100.25
at.%			
Au	42.41	42.83	42.90
Ag	57.59	57.17	57.10

イト・磁硫鉄鉱と密接に共生する(図8)。本鉱床のエレクトラムのAu含有量は43 at.%程度で、単一粒子内ではAuとAgの組成変動による累帯構造は認められない(表9)。

5. 春日山鉱床の鉱化作用の特徴

(1) 晶出順序

本鉱床のスカルンを構成する縞状スカルンと脈状スカルンの形成順序は、縞状スカルンが脈状スカルン、ペグマタイトおよびアプライトに切られる産状に基づく、透輝石および珪灰石から構成される縞状スカルンが初めに形成されたと考えられる。脈状スカルンは、灰鉄輝石と柘榴石から構成され、ペグマタイト周辺に発達する。本スカルンでは、灰鉄輝石スカルンを切る脈状の柘榴石もみられ、柘榴石は灰鉄輝石と同時期もしくは若干遅れて晶出している。灰重石は、一般に脈状スカルンの灰鉄輝石・柘榴石と密接に関係して晶出する。磁硫鉄鉱等の硫化鉱物は、他形を呈し、単斜輝

石等のスカルン鉱物の粒間を埋めたり、一部の硫化鉱物がスカルン鉱物を脈状に切る産状に基づけば、硫化鉱物等の形成は、スカルン鉱物や灰重石の形成後と考えられる。

(2) 生成環境

春日山鉱床の鉱物組合せ、鉱物の化学組成から灰重石鉱床の生成環境について検討した。

灰重石に富む柘榴石-単斜輝石スカルン中には、磁硫鉄鉱-硫砒鉄鉱-閃亜鉛鉱-自然蒼鉛-ヘドレイイトの鉱物組合せが認められる。鉱床生成時の温度および $\log f_{S_2}$ は、硫砒鉄鉱のAs含有量33.1~33.2 at.%、自然蒼鉛の安定領域、硫砒鉄鉱地質温度計(Sharp et al., 1985)を考慮すると、それぞれ400~410°C、-9.4~-8.0の間と推定される(図9)。鉱床生成時の温度は400°C付近であったと考えられる。

灰重石や硫化鉱物等が脈状のスカルンに密接に伴う事、また脈状のスカルンの近傍にアプライト等の火成岩類が存在する事を考慮すると、春日山鉱床の灰重石を伴う鉱化作用は、鉱床近傍の分化の進んだ酸性火成岩類の活動に伴い行われた可能性が高い。スカルンの形成は、本活動の中でも比較的高温の時期に、そして温度が低下するプロセスの中で、酸性火成岩類から発生する流体により灰重石や硫化鉱物の鉱化作用が行われたものと推定される。

6. まとめ

本研究で得られた結果を要約すると、次のようになる。

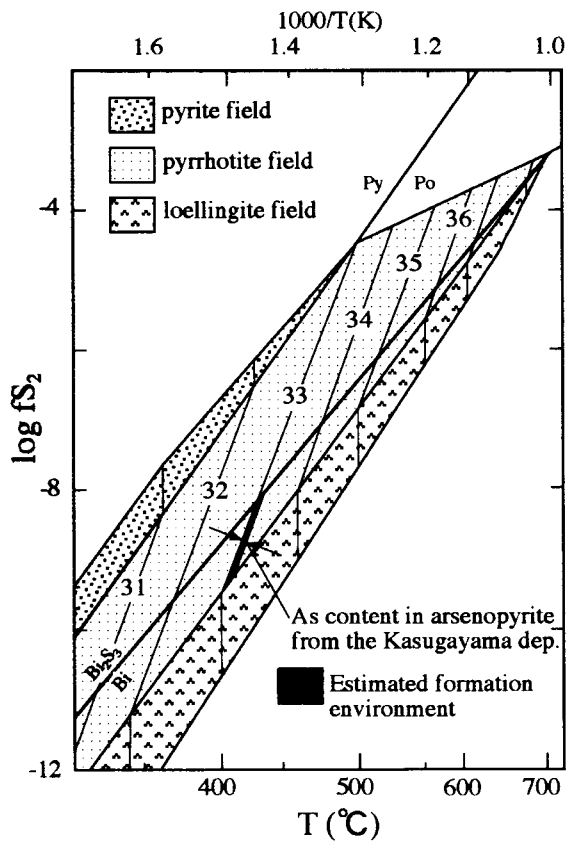


図9 春日山鉱床のタングステン鉱床生成時の硫黄分圧と温度の推定

熱力学データは、Sharp et al. (1985), Craig and Barton (1973) から引用。

- (1) 本鉱床は、再結晶質石灰岩、チャート、縞状スカルン（主要構成鉱物：透輝石、珪灰石）、脈状スカルン（主要構成鉱物：灰鉄輝石、柘榴石）、火成岩類（ペグマタイト質花崗岩、アプライト）から構成される。
- (2) 脈状スカルンは、その近傍の火成岩類とともに縞状スカルンを切る産状を呈し、灰重石の他、硫化鉱物等の鉱石鉱物を産する。
- (3) 本鉱床で同定された鉱石鉱物は、灰重石、磁硫鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、硫砒鉄鉱、ゲルスドルフ鉱、輝コバルト鉱、針ニッケル鉱、自然蒼鉛、ヘドレアイト、ヘッサイト、エレクトラムである。
- (4) 鉱床生成時の温度と硫黄分圧は、約400°C、 10^{-8} ~ 10^{-9} atmと推定される。
- (5) 本鉱床の灰重石を伴う鉱化作用は、鉱床近傍の分

化の進んだ酸性火成岩類の活動に伴い行われた可能性が高い。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、秋田大学工学資源学部名誉教授の石川洋平博士には、本研究に励ましを頂いた。ここに記し厚く御礼申し上げます。

引用文献

Craig, J. R. and Barton, P. B. Jr., 1973, Thermochemical approximations for sulfosalts. *Econ. Geol.*, **68**, 493-506.

河田清雄・山田直利, 1957, 5万分の1地質図幅「飯田」. 地質調査所.

松枝大治, 1981, 都茂鉱山丸山鉱床下部における鉄バスタム石の産状と成因. *鉱山地質*, **32**, 71-82.

松島信幸・寺平 宏, 1984, 5万分の1天竜川上流域地質図. 社団法人中部建設協会.

Sharp, Z. D., Essene, E. J. and Kelly, W. C., 1985, A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure considerations and applications to natural assemblages. *Canad. Mineral.*, **23**, 517-534.

Shimazaki, H. and Bunno, M., 1978, Subsolidus skarn equilibria in the system $CaSiO_3$ - $CaMgSi_2O_6$ - $CaFeSi_2O_6$ - $CaMnSi_2O_6$. *Canad. Mineral.*, **16**, 539-545.

Shimazaki, H. and Shimizu, M., 1984, Compositional variation of sphalerites from skarn deposits in Japan. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Sec. II*, **21**, 1-37.

Suzuki, K. and Adachi, M., 1998, Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: constraints from CHIME monazite ages of gneisses and granitoids. *Journal of Metamorphic Geology*, **16**, 1, 23-37.

八木貞助, 1946, 信濃の地下資源. 信濃毎日印刷出版局, 139p.

山田直利・片田正人・端山好和・山田哲雄・仲井豊・沓掛俊夫・諏訪兼位・宮川邦彦, 1974, 中部地方領家帯地質図(20万分の1). 地質調査所.

Summary

The Kasugayama deposit occurred in a contact aureole between metamorphosed sedimentary rocks such as hornfels, chert and recrystallized limestone and Inagawa granitic body in late Cretaceous age. The ore deposit consists of recrystallized limestone, chert, banded skarn, vein skarn and igneous rocks of aplite and granitic rocks showing pegmatitic texture. The igneous rocks are close to the vein skarn. The major skarn mineral of the banded skarn is clinopyroxene, while major skarn minerals of the vein skarn are clinopyroxene and garnet. Most of the ore minerals are distributed in the vein skarn as dissemination. The ore minerals are scheelite and pyrrhotite with small amounts of chalcopyrite, sphalerite, galena, arsenopyrite, gersdorffite, cobaltite, millerite, native bismuth, hedleyite, hessite and electrum. The close relationships among the distributions of granitic rocks, vein skarn and ore minerals suggest that the scheelite mineralization was caused by fluid associated with the activity of granitic rocks. Estimated temperature and sulfur fugacity for the mineralization are around 400°C and 10^{-8} to 10^{-9} atm, respectively.