広島県三原鉱山産デーナ石およびフェナス石*

Danalite and Phenacite from the Mihara Mine,
Hiroshima Prefecture, Japan

青木 義和 (Yoshikazu Aoki)**

肥田 昇 (Noboru Hida)***

前田 憲二郎 (Kenjiro Maeda)****

1. は し が き

本邦に産するベリリウム鉱物としては、リョクチュウ石、キンリョク石、ガドリリン石、ヘルビンなどがあげられるが、広島県三原鉱山には、我国においては珍しいデーナ石およびフェナス石を産するので、これらの鉱物の記載を行ないたい。

デーナ石は、ヘルビン $\text{Mn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$ 、гентヘルバイト $\text{Zn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$ とともに ヘルビン族鉱物の一員であり、理想端成分が $\text{Fe}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$ で、ホウソーダ石と同構造のテクト珪酸塩鉱物である。今回ここに記載する三原鉱山産のものが、我国における初めての産出である。フェナス石は、 Be_2SiO_4 とカンラン石組成をもつが、ケイアエン鉱と同構造の三方晶系に属する鉱物で、柴田 (1939) および長島・桜井 (1969) により、長野県山口村 および岐阜県苗木地方のペグマタイト産のものにつき、それぞれ報告されている。

これらの鉱物は、地質調査所におけるベリリウム鉱床探査計画の一部として、三原鉱山を調査した際に見出されたもので、その調査にあたっては、当時の地質調査所中国出張所 青柳信義所長 (現資料室長)、同所鉱床部坂巻幸

* 1968年2月鉱山地質学会 および岩鉱学会連合学術大会 (仙台) および1968年10月3日鉱学会共催学術講演会 (岡山) にて一部講演。

** 九州大学理学部地質学教室

*** 工業技術院東北工業技術試験所

**** 工業技術院地質調査所技術部

なお、この研究は、青木および肥田が地質調査所在職中に行われた。

雄技官、および三原鉱業株式会社番匠嘉久蔵氏はじめ現地の方々に多大の援助を賜った。また、国立科学博物館加藤昭博士には、原稿を読んで批判していただき、さらに貴重な文献を御教示いただいた。以上の方々に心から感謝の意を表する。

2. 産地および地質概略

三原鉱山は、広島県三原市宗郷町部落の南々西約 500 m に位置するホタル石の鉱山（古くは銅鉱を稼行）であるが、現在は稼行していない。

鉱山附近の地質は、広島型花崗岩類とその上にルーフ状に分布する古生層から成る。古生層は、主に粘板岩・チャート・変輝緑岩・石灰岩から成り、広島型のクロウンモ花崗岩の貫入により、ホルンフェルス化およびスカルン化をうけている（添田，1963）。

スカルンは鉱物組成により、カイジュウ石—チョウ石—ホタル石—クロウンモスカルン、縞状スカルン*、チョウ石—ホタル石—テツアクチノセン石スカルン、およびベスプ石—ホタル石—サーラキ石—ザクロ石スカルンなどに分けられる。なお、スカルン中にジリュウテツ鉱、オウドウ鉱、センアエン鉱などを seam 状、鉱染状に含む場合がある。

広島型花崗岩は、主にセキエイ、アルカリチョウ石、クロウンモ、および少量のシャチョウ石から成るが、スカルンの近くでは、径 0.4 mm 以下のホタル石を含むことがある。スカルンとの接触部の一部 又は、その近くで含ホタル石閃長岩および含ホタル石モンゾニ岩化しており、ホタル石のほかに、テツアクチノセン石、サーラキ石、クロウンモ、などのスカルン構成鉱物を取り込んでいる場合がある。

3. デーナ石

デーナ石は、含ホタル石モンゾニ岩中に、径約 0.2~1.5 mm の黄褐色ないし赤褐色粒状をなして点在し、肉眼的には径約 1~4 mm の紫色ないし深紫色粒状のホタル石と共存するのが特徴である。

* 緑色部、白色部および黒色部が、1~5 mm の巾で彎曲した縞状を呈するもので、主として緑色部はテツアクチノセン石、ホタル石、白色部はホタル石、チョウ石、ザクロ石、ベスプ石、黒色部はジテツ鉱、テツアクチノセン石などから構成される。

第1表 デーナ石、ヘルビンおよびゼントヘルバイトのX線粉末データ

	Danalite				Helvine		Genthelvite	
	(1)		(2)		(3)		(4)	
h k l	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
002			4.087	1			4.07	m
012	3.68	25	3.678	4	3.71	2	3.65	m
112	3.36	100	3.347	10	3.38	10	3.33	vs
022	2.904	10	2.897	1	2.93	1/2	2.875	m
013	2.599	30	2.591	3	2.62	3	2.577	s
222	2.376	12	2.368	2	2.386	2	2.351	m
023	2.282	8	2.274	1	2.287	1	2.258	w
123	2.195	35	2.193	5	2.213	5	2.174	vs
			2.129	1	2.152	1/2		
004	2.056	8	2.052	1	2.066	1/2	2.036	m
033, 114	1.936	65	1.932	7	1.949	7	1.918	vs
024	1.837	13	1.833	2	1.849	2	1.822	s
124	1.791	8	1.790	1	1.803	1	1.778	w
224	1.678	13	1.678	3	1.689	3	1.663	s
015, 134	1.610	11	1.607	2	1.621	2	1.596	m
025, 234	1.526	7	1.524	1	1.536	1	1.513	w
125	1.499	10	1.498	2	1.513	2	1.489	s
044	1.453	13	1.451	4	1.462	4	1.441	s
035, 334	1.410	10	1.410	3	1.418	3	1.399	s
006, 244	1.369	12	1.368	3	1.380	4	1.359	s
116, 235	1.333	14	1.333	3	1.342	4	1.322	s
026			1.297	1/2			1.288	w
145	1.267	10	1.268	4	1.277	4	1.258	s
a(Å)	8.216		8.196		8.272		8.12±0.01	
mol%	Da ₅₇ He ₂₈ Ge ₁₅		Da ₆₅ He ₂₈ Ge ₇		Da ₈ He ₉₂ Ge ₀		Da ₂₂ He ₃ Ge ₇₅	

- 1) Mihara mine, Hiroshima pref., present work.
- 2) Needle-point Mountain, British Columbia, Thompson (1957).
- 3) Yagisawa mine, Nagano pref., 吉村・吉永 (1959).
- 4) Jos, Northern Nigeria, Knorring and Dyson (1959).

顕微鏡下では、わずかに黄褐色味を帯びた自形ないし半自形で、不規則な割れ目が多数存在する。光学的には等方性で異常消光は認められない。アルカリチョウ石およびホタル石と密接するが、時には、クロウンモ、テツアクチノセン石およびフェナス石を交代したような組織を呈する場合が観察される。

第2表 デーナ石、ヘルビンおよびゲントヘルバイトの化学分析値、屈折率および比重

	Danalite		Helvine	Genthelvite
	(1)	(2)	(3)	(4)
SiO ₂	32.09	34.08	33.62	30.70
BeO	11.47	16.32	12.88	12.39
Al ₂ O ₃	2.53	—	1.21	0.18
TiO ₂	0.37	—	—	—
FeO	25.79	30.66	2.24	11.73
MnO	12.78	13.28	45.46	1.72
ZnO	7.66	2.97	1.20	40.56
CaO	3.16	—	0.30	tr
MgO	0.53	—	tr	tr
CO ₂	0.45	—	—	—
H ₂ O ⁺	0.45	—	}	—
H ₂ O ⁻	0.29	—		—
S	4.36	5.61	5.64	5.50
	101.93	102.92	102.57	102.78
S=O	2.18	2.80	2.81	2.74
Total	99.75	100.12	99.76	100.04
Mol%	Da ₅₇ He ₂₈ Ge ₁₅	Da ₆₆ He ₂₈ Ge ₅	Da ₅ He ₉₃ Ge ₂	Da ₂₂ He ₃ Ge ₇₅
n(NaD)	1.754±0.002	1.752	1.732	1.745
S. G.	3.28±0.01	3.32	3.22	3.62

- 1) Mihara mine, Hiroshima pref., present work. Analyst: K. Maeda.
- 2) Imalka, Siberia, Grigoriev (1944).
- 3) Casa Ventura, Southern Rhodesia, Knorring (1959).
- 4) Jos, Northern Nigeria, Knorring and Dyson (1959).

X線回折の結果は第1表に示す通りであるが、比較のために端成分に近い八木沢鉱山産ヘルビン(吉村・吉永, 1959; 第1図の18), Jos産ゲントヘルバイト(Knorring and Dyson, 1959; 同図16), および三原鉱山産デーナ石に近い成分をもつ Needle-point Mountain産デーナ石(Thompson, 1957; 同図14)のデータも合せて表示した。シリコンを内部標準試料として、013, 123, 044, 145の各ピークの位置を精密測定した結果、格子定数は、

$$a=8.216\text{\AA}$$

であった。X線回折パターンおよび格子定数ともに Needle-point Mountain産デーナ石のデータとかなりよく一致する。

デーナ石を含む岩石を150~200メッシュに粉碎し、磁選および重液分離した試料の化学分析結果を第2表に示す。X線回折結果を表示した場合と同様に、端成分に近い Casa Ventura産ヘルビン(Knorring, 1959; 第1図17), Jos産ゲントヘルバイト、および三原鉱山産のものと成分が似ている Imalka産デーナ石(Grigoriev, 1944; 同図11)のデータを比較のために呈示した。鉱物分離に際し、微量のクロウンモその他の不純物を完全に取り除くことが出来ず、Ca, Mg, CO₂, H₂O⁺, H₂O⁻などが結果として出ているので、化学式を掲げていないが、成分的には Da₅₇He₂₈Ge₁₅あるいはこれに非常に近いデーナ石である(第1図参照)。

なお、浸液法(NaD線使用)による屈折率とバーマン比重計で測定した比重を、第2表の分析値の下欄に掲げておいた。

4. フェナス石

フェナス石は、三原鉱山第3号坑内に小規模に露出するカイジュウ石—チョウ石—ホタル石—クロウンモスカルン、およびこれと接する含ホタル石モンゾニ岩中に産する。

第3号坑は、坑口崩落のために現在は観察不可能であるが、カイジュウ石—チョウ石—ホタル石—クロウンモスカルンは、巾約20~50cm, 最大巾約3mの帯状をなして、含ホタル石モンゾニ岩と接する。その境界はかなり明瞭である。このスカルンは緑黒色で、肉眼では緑黒色のクロウンモおよび淡紫色のホタル石は認められるが、フェナス石その他の構成鉱物は認め難い。

顕微鏡下では無色で、丸味のある六角形、長方形、あるいは柳葉状の形を

し、一方向に劈開が認められ、双晶を形成している場合もある。大きさは一般に小さく、一辺が 0.08~0.3 mm 程度である。鮮緑色のクロウンモ、少量のアルカリ長石、シャチョウ石とともに、径 1 mm 前後のホタル石の粒間に少量存在する。クロウンモは、大きさが 0.08×0.25 mm 程度のものが多数集まって集合体を形成し、微粒のジテツ鉱を伴なう。所により、カイジュウ石およびソーダフッ石によって虫喰い状に交代され、黄緑色に変じている。

含ホタル石モンゾニ岩中のフェナス石は、粒状で径が 0.15 mm に達するものもあるが、ほとんどのものは数 10 ミクロン以下と小さく、その量も非常に少ない。クロウンモ、テツアクチノセン石などと共に変じてデーナ石およびカリチョウ石を生成している。

Minas Geraes 産のフェナス石 (ASTM, 9-431) とともに、カイジュウ石—チョウ石—クロウンモスカルン中のフェナス石の比重値と光学性とを第 3 表に示したが、比重が少し大きいほかは非常によく一致している。

第 3 表 フェナス石の光学性と比重

	Mihara mine, Hiroshima Pref. (present work)	Minas Geraes, Brazil (ASTM 9-431)
S. G.	2.968±0.002	2.964±0.007
ϵ	1.670	1.670±0.002
ω	1.653	1.654±0.002
$\epsilon-\omega$	0.017	0.016
Optic Sign	uniaxial(+)	uniaxial(+)

同じスカルン中のフェナスの石の試料粉末を、スライドガラス上に塗布して X 線回折データを得た。第 4 表にみられる通り、Minas Geraes 産フェナス石のデータと極めてよい一致を示す。

なお、再三の磁選および重液分離にも拘らず、含ホタル石モンゾニ岩中のフェナス石の純粋試料が得られなかったので、その比重測定や X 線回折実験などは行っていない。また、上記 2 種の産状を示すフェナス石は、双方とも量的に化学分析できるだけの純粋試料が得られず、従って化学分析は行っていない。

第4表 フェナス石のX線粉末データ

h k l	(1)		(2)	
	d(Å)	I	d(Å)	I
110	6.26	22	6.25	40
021			4.52	3
012	3.854	18	3.86	25
211	3.660	62	3.66	80
300	3.604	25	3.601	30
202	3.279	6	3.279	3
220	3.118	100	3.119	100
122	2.901	10	2.903	17
131	2.815	10	2.817	13
113	2.516	60	2.518	75
410	2.358	28	2.358	70
042	2.260	4	2.262	5
303	2.185	60	2.187	60
330	2.079	23	2.079	50
104	2.025	3	2.026	3
241	1.981	7	1.982	9
502	1.915	8	1.914	9
214	1.843	3	1.842	3
422	1.826	4	1.829	3
600	1.796	6	1.798	5
413	1.789	10	1.790	15
152	1.755	3	1.755	3
431	1.735	6	1.735	7
520	1.730	10	1.730	11
333	1.658	16	1.6581	17
404	1.639	5	1.6392	3
161	1.615	2	1.6154	3

1) Mihara mine, Hiroshima pref., present work.

2) Minas Geraes, Brazil, ASTM 9-431.

5. 考 察

第1図は、ヘルビン—デーナ石—гентヘルバイト三角図に、既に報告されているデータと三原鉱山産のものを図示したものである。ここで、化学分析値が与えられていても、産地・産状の不明なものは除外した。

三角図の中央部、デーナ石端成分近傍、およびヘルビン—гентヘルバイト系のはゞ中央部附近の組成のものの産出がまだ報告されていないが、組成と産状との関係をみると、

- (1) スカルン中に産するものは、1例を除き、 $\text{Da}_{15} \sim \text{Da}_{75}$, $\text{He}_{25} \sim \text{He}_{80}$, Ge_{20} 以下、
- (2) 熱水脈中のものは、1例を除き、 $\text{Da}_{65} \sim \text{Da}_{85}$, $\text{He}_{10} \sim \text{He}_{25}$, Ge_{15} 以下、
- (3) ペグマタイト産のものは、ヘルビン—デーナ石系のヘルビン領域、およびгентヘルバイト領域内、

の組成領域内にそれぞれ分布していることがわかる。但し、(2)の熱水脈中に産するもののうち、30以外のもの(24~28)は全て同一地方(Cornwallの3鉱山、2地方)の産なので、値がまとまるのはある程度当然のことかもしれない。他の産状のものは、データが少ないので一概に論じられないが、花崗岩質岩中に産するものは、さらに、花崗岩中に産するもの(3, 4, 16, 41, 42)と閃長岩中に産するもの(1, 7, 33)とに小分けされ、前者は $\text{Da}_{20} \sim \text{Da}_{65}$, $\text{Ge}_{20} \sim \text{Ge}_{75}$, He_{16} 以下の領域、後者はヘルビン領域内に限られる。三原鉱山産のものについて云えば、デーナ石領域に点示されるのはもちろんであるが、(1), (2)の領域の近くにありながら、それらのいずれにも属さず、上に述べた花崗岩中に産するものの領域にも入らないという興味ある部分に点示される。

広島型のクローンモ花崗岩は、スカルンの近く、またはスカルンとの接触部の一部で、含ホタル石モンゾニ岩と化しており、その中にデーナ石を含む場合は、フェナス石を産するカイジュウ石—チョウ石—ホタル石—クローンモスカルンの接触部かその近くに限定されていることは、既に述べた。

一般に、花崗岩質岩の貫入に伴って、既存岩のスカルン化が行われた場合、花崗岩質岩体内での物質の移動が充分でなければ、スカルンとの接触部からは花崗岩質岩体内の珪酸分が除去され、相対的にアルカリ、アルミナなどに富む岩石の生成を見ることは、野外でも(Tilley, 1951)、実験室でも

(Winkler and Johannes, 1963) よく知られた事実である。

従って、当鉱山においても、スカルンと接する花崗岩は珪酸分を除去され、セキエイが非常に少なく、相対的にカリチヨウ石やシャチヨウ石に富むモンゾニ岩と化したものと思われる。その際、ベリリウムの大部分は、モンゾニ岩体内でデーナ石を形成するために用いられたものであろう(青木・肥田, 1974)。

また、局部的にモンゾニ岩中に捕獲されたフェナス石、クロウンモなどから、デーナ石やカリチヨウ石が生成されている場合が認められるが、これは次のような反応によるものと思われる。即ち、各鉱物を理想組成で表わせば、

実際には、クロウンモ、デーナ石およびカリチヨウ石はそれぞれ固溶体を形成しているであろうし、センアエン鉱や他のスカルン鉱物も反応に関与したかもしれないから、もっと複雑な反応を考えなければならないであろう。ただし、このような現象は、スカルンと接する極く一部のモンゾニ岩中にしか観察されないので、局部的なものを見た方が妥当であろう(青木・肥田, 1974)。

文 献

- 1) 青木義和・肥田 昇：鉱山地質, **24**, 201 (1974).
- 2) Čech, F. and Povondra, P.: Acta Univ. Carolinae, Geol., **1**, 1 (1969).
- 3) Chistyakova, M.B. and Moleva, V.A.: Tr. Min. Muz., Akad. Nauk SSSR, No. 17, 240 (1966).
- 4) Dolomanova, E.I. and Moleva, V.A.: Tr. Min. Muz., Akad. Nauk SSSR, No. 14, 215 (1963).
- 5) Eskova, E.M.: Dokl. Akad. Nauk SSSR, **116**, 481 (1957).
- 6) Glass, J.J., Jahns, R.H. and Stevens, R.E.: Amer. Mineral., **29**, 163 (1944).
- 7) Gordillo, C.E.: Actas Jornadas Geol. Argent., **1966**(3), 209 (1966).
- 8) Grigoriev, I.F.: Dokl. Akad. Nauk SSSR, **44**, 114 (1944).
- 9) Gruner, J.W.: Econ. Geol., **39**, 444 (1944).

- 10) Haapala, I. and Ojanperä P.: *Geol. Surv. Finland, Bull.*, **259**, 1 (1972).
- 11) Ivanov, I.M.: *Spis. Bulg. Geol. Druzh.*, **30**, 67 (1969).
- 12) Kalenov, A.D.: *Zap. Vses. Min. Obshch.*, **88**, 481 (1959).
- 13) Kingsbury, A.W.G.: *Min. Mag.*, **32**, 921 (1961).
- 14) Knorring, O. von: *Min. Mag.*, **32**, 87 (1959).
- 15) ——— and Dyson, P.: *Amer. Mineral.*, **44**, 1294 (1959).
- 16) Litsenmaier, N.V.: *Zap. Vses. Min. Obshch.*, **89**, 466 (1960).
- 17) Marmo, V., Hoffren, V., Hytönen, K., Kallio, P., Lindholm, O. and Siivola, J.: *Bull. Comm. géol. Finlande*, **221**, 1 (1966).
- 18) 松原 聡・加藤 昭・桜井欽一・坂田嘉雄・長島弘三: 国立科博研報, **16**, 149 (1973).
- 19) Morgan, W.C.: *Min. Mag.*, **36**, 60 (1967).
- 20) 長島弘三・桜井欽一: 鉱物雑, **9**, 258 (1969).
- 21) Oftedal, I. and Saebø, P. Chr.: *Norsk Geol. Tidssk.*, **43**, 405 (1963).
- 22) Pavlova, I.G., Beknazarov, K.B. and Sal'dau, É.P.: *Zap. Vses. Min. Obshch.*, **95**, 674 (1966).
- 23) Ramdohr, P. and Ramdohr, H.: *Geol. För. Förh.*, Stockholm, **76**, 381 (1954).
- 24) 柴田秀賢: 地質雑, **46**, 465 (1939).
- 25) 添田 晶: 国内鉄鋼原料調査, 第2報, 通産省, 465 (1963).
- 26) Strunz, H. and Tennyson, Ch.: *Aufschluss*, **15**, 119 (1964).
- 27) Thompson, R.M.: *Can. Mineral.*, **6**, 68 (1957).
- 28) Tilley, C.E.: *Min. Mag.*, **29**, 621 (1951).
- 29) Vasil'ev, V.A.: *Zap. Vses. Min. Obshch.*, **90**, 571 (1961).
- 30) Winkler, H.G.F. and Johannes, W.: *Naturwiss.*, **50**, 730 (1963).
- 31) 吉村豊文・吉永真弓: 鉱物雑, **4**, 34 (1959).
- 32) Yoshinaga, M.: *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, Ser. D., **9**, 47 (1959).

(1973年10月3日 受理)