広島県東城町久代産ネフェリン

Nepheline from Kushiro, Tojo-cho, Hiroshima Prefecture, Japan

草 地 功 (Isao Kusachi)*
逸 見 千代子 (Chiyoko Henmi)**

Nepheline was found in contaminated rocks accompanied with the gehlenite-spurrite skarns at Kushiro, Hiroshima Prefecture. The mineral occurs as a main rock forming mineral up to 2 mm wide, associated with clinopyroxene, potash feldspar, titanite and apatite. It is hexagonal with the unit cell dimensions: $a=9.986(3)$, $c=8.372(3)$ Å. Optically, it is uniaxial negative with refractive indices $\omega=1.534$ and $\epsilon=1.528$. Vickers microhardness is 634~762 kg/mm² (100 g load) and observed density is 2.63 g/cm³. The average chemical composition of the mineral is $\text{FeNe}_{1.3}\text{Ne}_{70.5}\text{Ks}_{21.3}\text{An}_{2.0}\text{Q}_{4.8}$. Chemical composition is not variable.

The nepheline-bearing contaminated rocks are thought to have been derived by local desilication of quartz monzonitic magma.

I. はじめに

ネフェリンはナトリウムに富む準長石であり、アルカリ火成岩の特徴的鉱物である。その産出は世界的には広く知られており、Miyashiro (1951), Tilley (1954)による深成岩および火山岩中のネフェリンと母岩との組成関係に関する研究をはじめ、数多くの報告がなされている。日本でも島根県浜田産のネフェリナイト中のもの (Harumoto, 1952; Fujii, 1974), 西南日本のアルカリ玄武岩中のもの (Hirai and Arai, 1983) など数例の報告がある。

一方、スカルンに伴う岩石中のネフェリンとしては、ソ連のバイカル湖南部地域の間長岩と苦灰岩との接触部における苦土カンラン石-スピネルスカルンに伴う岩石中のもの (Shmakina, 1978) が知られているが、その産出例は少ない。今回、広島県東城町久代に産するゲーレン石・スパー石スカルンに伴う汚染岩を調べている過程において、その主要構成鉱物をなしているネフェリンを見いだしたので、その産状および鉱物学的性質について報告する。

II. 産 状

広島県比婆郡東城町久代の位置および地質について

は逸見ら (1976) により、すでに報告されているのでここでは省略する。

本地域には上野谷露頭、平田上部露頭、平田露頭と称しているスカルンの産地がある。これらの各露頭のスカルンは火成岩様岩石と混成岩様岩石が混在している汚染岩の周囲に発達している。上野谷露頭および平田上部露頭のスカルンは汚染岩-ゲーレン石帯-スパー石帯-結晶質石灰岩の帯状配列をなしている。平田露頭のスカルンも同様な配列をなしているが、スパー石帯の範囲はケイカ石帯である (沼野, 1979)。各露頭ともに汚染岩とゲーレン石帯との境界部では、汚染岩に近い方から順にザクロ石帯、ベスブ石帯、ハイドロザクロ石帯が見られる。ここで汚染岩と称しているものは主に輝石、長石からなるものであり、大部分は火成岩様岩石である。この汚染岩の岩石名および産状については近く別に論じる予定である。

ネフェリンは上野谷露頭および平田露頭における火成岩様岩石である汚染岩中に、単斜輝石、カリ長石と共にその主要構成鉱物として産する。副成分鉱物としてはクサビ石、リンカ石などがある。第1図にその顕微鏡写真が示されている。第1表には湿式法によるネフェリンを含む汚染岩 (1~3) およびネフェリンを含まない汚染岩 (4, 5) の化学組成が示されている。第

* 岡山大学教育学部地学教室
〒700 岡山市津島中 3-1-1
** 岡山大学理学部地学教室
〒700 岡山市津島中 3-1-1

Table 1. Chemical compositions of contaminated rocks from Kushiro

	1	2	3	4	5
SiO ₂	48.43	49.89	50.28	53.58	56.86
TiO ₂	1.14	0.25	1.01	0.80	0.09
Al ₂ O ₃	15.57	17.19	17.05	15.67	15.97
Fe ₂ O ₃	3.28	4.29	2.57	3.61	2.78
FeO	4.94	4.10	4.12	2.61	2.27
MnO	0.13	0.10	0.09	0.14	0.08
MgO	3.35	2.89	3.28	2.64	2.94
CaO	10.21	7.75	7.36	9.38	13.35
Na ₂ O	6.21	5.39	4.95	1.20	3.39
K ₂ O	3.98	6.56	6.77	8.11	0.57
H ₂ O(+)	1.70	1.13	1.52	1.63	1.11
H ₂ O(-)	0.63	0.38	0.74	0.53	0.45
P ₂ O ₅	0.06	0.01	0.07	0.12	0.09
Total	99.63	99.93	99.81	100.02	99.95
Q	-	-	-	-	9.81
Or	23.51	35.63	37.18	47.91	3.37
Ab	5.59	-	-	6.94	28.67
An	2.87	3.35	4.32	13.42	26.68
Ne	25.43	24.70	22.68	1.74	-
Lc	-	2.45	2.21	-	-
Wo	5.98	2.99	0.33	5.23	6.15
Di	Wo	13.81	11.63	8.26	10.12
	En	8.34	7.19	6.57	7.32
	Fs	4.72	3.76	0.75	1.87
Mt	4.76	6.22	3.73	5.23	4.03
Il	2.17	0.47	1.92	1.52	0.17
Ap	0.14	0.02	0.17	0.28	0.21

1: Hirata outcrop(This study).

2,3,5: Uenotani outcrop(This study).

4: Hirata outcrop(Numano, 1979).

1表中の1,4は平田露頭,2,3,5は上野谷露頭のものである。ネフェリンを含む汚染岩のSiO₂含有量はいずれも50%前後で,Na₂Oが多く,20%以上のノルムネフェリンが計算される。ネフェリンはモードとしても10~15%含まれている。2,3の試料ではK₂O含有量が多く,2%強のノルムリューサイトが計算されるが,今の所リューサイトの存在は認めていない。4の試料(沼野, 1979)は大部分が最大微斜長石からなる汚染岩であり,5の試料は石英が存在するものである。4の試料では2%弱のノルムネフェリンが計算されているが,ネフェリンは確認されていない。

ネフェリンと共生する単斜輝石は累帯構造を示すものが多い。結晶の中心部から周辺部に向かってエジリン成分に富み,中心部では7.9~10.5モル%,周辺部では8.2~15.3モル%である。Fe/Mg比は中心部では0.21~0.60,周辺部では0.72~1.12であり,中心部から周辺部に向かってその値は大きくなる傾向を示している。これらの単斜輝石はMorimoto (1989)によると,中心部,周辺部ともにCa-Mg-Fe輝石類に分類され,中心部の組成はDi₆₂₋₆₁Hd₃₈₋₁₉,周辺部はDi₄₇₋₅₇Hd₅₃₋₄₃である。また,ネフェリンと共生する長石は大部分がカリ長石である。組成は安定しており,その平

Fig. 1. Photomicrographs of contaminated rock. A, Polarized light; B, Crossed nicols. Abbreviations: Ne, nepheline; Kf, potash feldspar; Cpx, clinopyroxene. Scale bar = 0.2 mm.

均組成は $\text{Or}_{71}\text{Ab}_{28}\text{An}_1$ である。

上野谷露頭の汚染岩中のネフェリンには、その結晶の隙間を充填してカンクリナイト群鉱物が特徴的に産

する。

III. 鉱物学的性質

ネフェリンは他形～半自形結晶として単斜輝石、カリ長石と共に汚染岩の主要構成鉱物として産する。ネフェリン結晶の大きさは最大 2 mm に達するものもあるが、一般的には 0.5 mm 以下のものが多い。肉眼的には白色、鏡下では無色透明であり、累帯構造は認められない。光学的には一軸性負であり、屈折率は $\omega = 1.534$, $\epsilon = 1.528$ である。この値は Tilley (1954) が Abbot's Hill, Dunedin, New Zealand におけるフォノライト中のネフェリンについて求めた値に近い。比重瓶を用いて測定した密度は 2.63 g/cm^3 である。微小硬度計によるビッカース硬度は $634 \sim 762 \text{ kg/cm}^2$ (100 g 荷重) であり、モース硬度に換算すると 5.5～6 に相当する。

ディフラクトメータ (Cu/Ni) を用いて測定した X 線回折値が JCPDS19-1176 (合成物で、組成は $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) の値と共に第 2 表に示されている。この値から求めたネフェリンの格子定数は $a = 9.986(3)$, $c = 8.372(3) \text{ \AA}$ であり、JCPDS19-1176 に記載されている $a = 9.957$, $c = 8.355 \text{ \AA}$ に比較して、 a , c 共にやや大きい値を示している。この差は久代産の試料には後に述べるようにカルシライト成分が Ks/Ne 比にして 0.3 含まれていることによるものである。このことはネフェリン-カルシライト系において、カルシライト成分の増加に伴って a , c 共に増加するという Smith and Tuttle (1957) の結果によく対応している。

第 3 表には EPMA によるネフェリンの化学組成が

Fig. 2. Portion of the $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 ternary diagram showing the compositions of nepheline.

1, This study (contaminated rock); 2, Shmakin, 1978 (Nepheline-potash feldspar-pyroxene rock); 3, Sahama, 1952 (Potash ankaratrite); 4, Hirai and Arai, 1983 (Alkali basalt); 5, Tilley, 1954, etc. (Phonolite); 6, Smith and Sahama, 1954, etc. (Syenite); 7, Fujii, 1974, etc. (Nephelinite).

Table 2. X-ray powder data for nepheline

h k l	d(calc)	Kushiro		JCPDS 19-1176	
		d(obs)	I	d	I
1 1 0	4.993	5.00	6	5.00	< 2
2 0 0	4.324	4.32	16	4.33	16
1 1 1	4.288	4.29	11	4.30	10
0 0 2	4.186	4.19	54	4.19	45
2 0 1	3.842	3.844	73	3.83	65
1 0 2	3.768	3.767	10	3.77	10
2 1 0	3.269	3.271	66	3.26	55
2 1 1	3.045	3.048	11	3.04	10
2 0 2	3.008	3.009	100	3.00	100
3 0 0	2.883	2.884	52	2.881	45
1 0 3				2.646	< 2
2 1 2	2.576	2.574	18	2.568	25
2 2 0	2.497	2.498	14	2.492	16
1 1 3				2.429	< 2
3 1 0	2.399	2.395	16	2.393	16
3 0 2				2.365	< 2
2 0 3	2.345	2.346	40	2.337	40
3 1 1	2.306	2.306	22	2.301	20
4 0 0	2.162	2.163	6	2.163	6
2 2 2				2.143	< 2
2 1 3	2.122	2.123	7	2.118	10
0 0 4	2.093	2.090	11	2.087	16
3 1 2				2.075	< 2
1 0 4				2.028	< 2
3 0 3				2.001	< 2
3 2 0				1.980	< 2
3 2 1	1.931	1.932	10	1.928	10
1 1 4	1.930				
4 0 2				1.916	6
4 1 0	1.887	1.884	8	1.880	6
2 0 4	1.884				
4 1 1				1.836	< 2
3 1 3				1.810	< 2
3 2 2	1.793	1.794	8	1.787	10
a(Å)		9.986(3)		9.957	
c(Å)		8.372(3)		8.355	

示されている。平田露頭および上野谷露頭に産するネフェリンの化学組成は安定しているので、久代産ネフェリンの組成は平均値で示されている。第3表中の1は平田露頭に産する汚染岩中の12例の平均組成、2は上野谷露頭産の10例のものである。3はネフェリン

閃長岩中のもの(Smith and Sahama, 1954), 4はフォノライト中のもの(Tilley, 1954), 5はアルカリ玄武岩中のもの(Hirai and Arai, 1983)である。第2図の NaAlSiO_4 - KAlSiO_4 - SiO_2 図にはこれらの岩石中に産するネフェリンの分布範囲と共に久代産ネフェリン

Table 3. Chemical analyses of nepheline

	1	2	3	4	5
SiO ₂	43.55	43.46	43.33	44.65	46.3
Al ₂ O ₃	33.03	33.38	34.00	32.03	32.8
Fe ₂ O ₃	0.72	0.47	0.18	0.59	0.50
CaO	0.18	0.64	0.26	0.71	1.06
Na ₂ O	15.60	15.45	16.54	17.25	15.9
K ₂ O	6.45	6.24	6.10	3.66	3.96
H ₂ O(+)	-	-	-	0.96	-
H ₂ O(-)	-	-	0.03	0.21	-
Total	99.53	99.64	100.44	100.06	100.5
Number of atoms (O=8)					
Si	2.102	2.093	2.073	2.146	2.175
Al	1.879	1.895	1.918	1.815	1.816
Fe	0.026	0.017	0.006	0.021	0.020
Ca	0.009	0.033	0.013	0.037	0.053
Na	1.460	1.443	1.535	1.608	1.448
K	0.397	0.383	0.372	0.224	0.237
Mol% of end-members					
FeNe	1.7	1.0	0.3	1.4	1.4
Ne	70.7	70.3	75.2	78.3	71.6
Ks	21.7	21.0	20.5	12.4	13.2
An	0.8	3.1	1.4	3.6	5.3
Qz	5.1	4.6	2.6	4.3	8.5

1,2: This study.

3: Smith and Sahama (1954).

4: Tilley (1954).

5: Hirai and Arai (1983).

(1), Shmakin (1978) によるバイカル湖南部地域のスカルン中に産するもの (2) および Sahama (1952) による Potash ankaratrite 中に産するもの (3) の組成がプロットされている。ネフェリンの組成には Sahama (1952) によって報告された $\text{Ne}_{54.7}\text{Ks}_{45.3}$ のようにカルシライト成分に富むものも知られているが、多くのものは Ne/Ks 比が 7~2 の範囲のものであり、同一岩石中のものでもかなりの組成変化が示されている。これに対して、久代のスカルンに伴う汚染岩中に産するネフェリンの組成は安定しており、その平均組成は $\text{FeNe}_{1.3}\text{Ne}_{70.5}\text{Ks}_{21.3}\text{An}_{2.0}\text{Qz}_{4.9}$ である (FeNe は NaFeSiO_4 組成を示す)。本地域の汚染岩中のネフェリンの Ne/Ks 比 (3.3~3.4) は、アルカリ玄武岩 (4) およびフォノライト中のもの (5) とネフェリナイト中のもの (7) との中間的な値であり、ネフェリン閃長岩中

のもの (6) に近い値を示している。また、過剰の SiO_2 はバイカル湖南部地域のスカルン中のものには認められないのに対して、本地域のものには 4.6~5.1 モル % の SiO_2 が含まれている。

IV. 産状についての考察

広島県久代のスカルンに伴う汚染岩中にネフェリンが見いだされた。ネフェリンはネフェリナイト、フォノライト、ネフェリン閃長岩などでの産出はよく知られているが、今回のようなネフェリンの産出例は少ない。

久代のスカルンは、石灰岩中に貫入した火成岩の周囲にゲーレン石帯、スパー石帯、結晶質石灰岩の順に常状配列をなしている。これらのスカルンの生成は火成岩からの物質の供給によるものである。火成岩から

の物質の移動はイオン半径に関係しており(草地, 1975), イオン半径の小さいケイ素が遠くまで移動してスパー石帯を作り, 次に小さいアルミニウムなどが中間的な移動距離でゲーレン石帯を作っている。イオン半径の大きいナトリウムやカリウムはほとんど移動せず火成岩中に残存している。従って, スカルンの生成に伴って火成岩は脱 SiO_2 を起こし, 相対的にアルカリ元素に富むようになり, アルカリ岩的な性格が強めてくる。ゲーレン石, スパー石スカルンが生成された後も, 接触部にごく近い所では局部的に火成岩からの脱 SiO_2 が引き続いて起こり, 火成岩はますます SiO_2 に乏しくなってくる。その結果として, スカルンに近い火成岩はネフェリン, アルカリに富む単斜輝石およびカリ長石より構成されるようになったものと考えられる。

久代と同様のスカルンを産する岡山県備中町布賀では, 石英モンゾニ岩-汚染岩-ゲーレン石帯-スパー石帯-結晶質石灰岩の帯状構造がみられる(草地, 1975)。久代には石英モンゾニ岩は存在しないが, 布賀の産状から考えて, 久代のゲーレン石, スパー石スカルンを生成した火成岩は石英モンゾニ岩であり, スカルンに近い石英モンゾニ岩マagmaが脱 SiO_2 を起こして汚染岩化したものと思われる。久代ではスカルンを生成した火成岩が小規模であるため, 火成岩全体が汚染岩化されたものと考えられる。

汚染岩中にはエジリン-オーゾナイト, ジルコニウム鉱物などが産することから, 汚染岩はアルカリ岩である可能性を指摘してきた。今回, アルカリ岩に特徴的なネフェリンが見いだされたことにより, 汚染岩と称している火成岩様岩石はアルカリ岩であることが明らかになった。従って, 今後はアルカリ岩の産状の一つとしてスカルンに伴う岩石も考慮していく必要があるものと思われる。

V. ま と め

広島県東城町久代に産するスカルンに伴う汚染岩中のネフェリンの産状および鉱物学的性質をまとめると次のようである。

(1) ネフェリンは細粒~中粒の火成岩様を呈する汚染岩中に他形~半自形をなして産する。主な共生鉱物は単斜輝石, カリ長石であり, 副成分鉱物としてはクサビ石, リンカイ石, カンクリナイト群鉱物などがある。

(2) ネフェリンの結晶の大きさは最大2 mmに達するものもあるが, 一般的には0.5 mm以下のもので

ある。肉眼的には白色, 鏡下では無色透明で, 累帯構造は認められない。一軸性負であり, 屈折率は $\omega=1.534$, $\epsilon=1.528$ である。密度は 2.63 g/cm^3 , ビッカース硬度は $634\sim 762 \text{ kg/cm}^2$ (100 g 荷重)で, モース硬度では5.5~6である。

(3) ネフェリンの組成は安定しており, その平均組成は $\text{FeNe}_{1.3}\text{Ne}_{70.5}\text{Ks}_{21.3}\text{An}_{2.0}\text{Q}_{4.9}$ である。

(4) X線回折値から求めたネフェリンの格子定数は $a=9.986(3)$, $c=8.372(3) \text{ \AA}$ である。

(5) 汚染岩中にネフェリン, エジリン成分に富む単斜輝石などが産出することは, 接触交代作用によって局部的にアルカリ岩が生じることの顕著な例である。

謝 辞 この研究に際して岡山大学逸見吉之助名誉教授, 国立科学博物館加藤 昭博士から多くの教示と有益な討論を受けた。心から感謝の意を表する。

引用文献

- Fujii, T. (1974), Petrology of Hamada nephelinite and associated ultramafic and mafic inclusions. Unpublished D. Sc. thesis, Univ. Tokyo.
- Harumoto, A. (1952), Melilite-nepheline basalt, its olivine nodules, and other inclusions from Nagahama, Japan. *Mem. Coll. Sci. Kyoto Univ. [B]*, 20, 69-88.
- Hirai, H. and Arai, S. (1983), Finding of nepheline in some alkali basalts from southwestern Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 89, 531-534.
- 逸見吉之助, 沼野忠之, 草地 功, 逸見千代子 (1976), ゲーレン石, スパー石を主とするスカルンの生成, 岩鉱, 特1, 329-340.
- 草地 功 (1975), 岡山県川上郡備中町布賀北露頭におけるスカルンの産状とその成因, 岡山大学教育学部研究集録, 43, 71-105.
- Miyashiro, A. (1951), The ranges of chemical composition in nepheline and their petrogenetic significance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1, 278-283.
- Morimoto, N. (1989), Nomenclature of Pyroxenes. *Mineral. J.*, 14, 198-221.
- 沼野忠之 (1979), 広島県東城町久代におけるゲーレン石, スパー石スカルンの地質学的および地球化学的研究 II. 平田露頭におけるゲーレン石スカルンの産状, 岡山大学教育学部研究集録, 50, 257-282.
- Sahama, Th.G. (1952), Leucite, potash nepheline, and clinopyroxene from volcanic lavas from Southwestern Uganda and adjoining Belgian Congo. *Amer. J. Sci., Bowen vol.*, 457-470.
- Shmakina, B.M. (1978), Mineralogy of Cisbaikalia.

- A guide-book for Baikal excursions of the XIth General Meeting of the International Mineralogical Association, p 184-193.
- Smith, J.V. and Sahama, Th.G. (1954), Determination of the composition of natural nephelines by an X-ray method. *Mineral. Mag.*, 30, 439-449.
- Smith, J.V. and Tuttle, O.F. (1957), The nepheline-kalsilite system: I. X-ray data for the crystalline phases. *Amer. J. Sci.*, 255, 282-305.
- Tilley, C.E. (1954), Nepheline-alkali feldspar parageneses. *Amer. J. Sci.*, 252, 65-75.