福島県東部野手上山玄武岩中の 超苦鉄質・苦鉄質包有物

Ultramafic and mafic inclusions in Nodegamiyama basalts from
the eastern part of Fukushima Prefecture, Northeast Japan

一ノ瀬 丁 己 (Teiko Ichinose)*
周 藤 賢 治 (Kenji Shuto)**
八 島 隆 一 (Ryūichi Yashima)***

Ultramafic and mafic inclusions, including intermediate ones, up to 3 cm in size found in high magnesian tholeiitic basalts are divided into the following three groups based on the mineral assemblage and texture: 1) poikilitic peridotite and pyroxenite, 2) pyroxenite including websterite, clinopyroxenite and orthopyroxenite, and 3) gabbro and diorite. The 1st group consists of euhedral olivine chadacrysts with chrome spinel inclusions, and clinopyroxene and/or orthopyroxene oikocrysts. The 2nd one shows equigranular in texture, but the last one does poikilitic and equigranular. Most of them contain interstitial patches composed of plagioclase, magnetite, clinopyroxene and glass. Petrographic features suggest that these inclusions are cumulates derived from the host magma.

I. 緒 言

野手上山玄武岩は、福島県東部原町市の西方約 15 km に位置する野手上山 (標高 628.6 m) を構成しているもので (第 1 図), 白亜紀花崗岩類を貫ぬいてドーム状 (直径は約 300 m) に産するものであり, その活動時代は中新世初期と推定されている (周藤ら, 1986)。

野手上山玄武岩は, SiO_2 に比較して MgO に富むことを特徴とし, 全岩化学組成上からは久野 (1968) の低アルカリソレライトから高アルカリソレライトの性質を示す (周藤ら, 1986)。本玄武岩中には, 基盤岩に由来する花崗岩や変成岩の岩片のほか, 径 4~30 mm 大の超苦鉄質および苦鉄質包有物が多量に含まれる。

東北日本においては, 日本海側秋田県の一の目湯や三の目湯および渡島大島の第四紀火山岩中に超苦鉄質・苦鉄質包有物を多量に産することがよく知られていて, それらの詳しい岩石学的研究がなされている (たとえば Aoki, 1971; Aoki and Shiba, 1973; Takahashi, 1980; Yamamoto, 1984)。

一方, これまでに, 太平洋側に分布する新生代火山岩中からは, 超苦鉄質・苦鉄質包有物の報告はなされていない。

本論文では, 野手上山玄武岩中に産する超苦鉄質包有物の岩石記載と構成鉱物の化学組成について報告し, さらに, これらの包有物と母岩の玄武岩との成因の関係についても述べることにする。

野手上山玄武岩々体およびその周辺の地質については筆者らが報告している (周藤ら, 1986), 本論文では省略する。

II. 包有物の岩石記載

包有物の形態は球状のものから不規則な多角形のものまであり, その大部分は径 30 mm 以下のものである。これらの超苦鉄質・苦鉄質包有物は, 主要構成鉱物のモード量と組織の違いによって次の 3 つのグループに分けられる

1: ボイキリティックカンラン岩およびボイキリティック輝岩

* 島原第 1 中学校

** 新潟大学理学部地質鉱物学教室

*** 福島大学教育学部地学教室

第1図 野手上山玄武岩の位置図。

1, 鮮新～洪積統; 2, 霊山火山岩類 (新第三紀初期); 3, 新第三系最下部～中部層; 4, 古第三紀層; 5, 白亜紀層; 6, 花崗閃緑岩・花崗岩類; 7, 蛇紋岩類; 8, 変成岩類; 9, 古生層; 10, 断層・破碎帯 (H. fz, 畑川破碎帯; F. f, 双葉断層); Nd, 野手上山; Sm, 相馬; Hm, 原町; Yg, 八葦。

2: 輝岩 (ウェブスタライト, 単斜輝岩, 斜方輝岩)

3: ハンレイ岩および閃緑岩

次にこれらの包有物の鏡下での特徴を述べる。

1. ボイキリティックカンラン岩およびボイキリティック輝岩

このグループに属する包有物は、カンラン石と輝石類のモード量による分類に基づけば、レールゾライト、ハルツバージャイト、ウェールライト、カンラン石ウェブスタライトである (第2図)。

径4～20 mm 大のことが多い。輝石の巨晶がカンラン石結晶をとりかこんで成長したボイキリティック組織を呈する (第3図)。他の包有物にくらべて、構成鉱物の数が少なく10個から30個程度の鉱物粒の集合である。カンラン石はモードで最大76%まで含まれる (第2図)。カンラン石: 1 mm 土の粒状自形結晶で緑泥石様鉱物に変質している場合がある。赤褐色のクロムスピネルを包有している。 $2V_x = 80 \sim 88^\circ$ 。単斜輝石: 径

第2図 包有物の鉱物容量比。

Ol, カンラン石; Opx, 斜方輝石; Cpx, 単斜輝石; Pl, 斜長石; 黒丸印, 超苦鉄質包有物; 丸印, 苦鉄質～中性包有物。

2～3 mm 大の半自形結晶で淡青緑色を呈する。 $c \wedge Z = 40 \sim 50^\circ$ で斜方輝石の離溶ラメラをもつものもある。斜方輝石: 径2～3 mm 大の半自形結晶。多色性は弱く $X =$ 淡黄色, $Z =$ 淡青緑色を呈する。 $2V_x = 76 \sim 84^\circ$, (100) 面に平行に単斜輝石の離溶ラメラがみられるものが多い。スピネル: 0.01～0.1 mm 大自形結晶で、赤褐色～黒褐色を呈し、カンラン石および輝石中に包有される。このグループの包有物中には、針状の斜長石、粒状、針状、樹脂状、骸骨状などの種々の形態からなる磁鉄鉱、微小な単斜輝石および黒色～褐色ガラスからなるパッチがしばしば interstitial に含まれる (第3図)。

2. 輝岩 (ウェブスタライト, 単斜輝岩, 斜方輝岩)

径4～25 mm 大のものが多く、等粒状組織を呈する。単斜輝石: 径1～2 mm 大の半自形～他形結晶で淡青緑色を呈する。 $c \wedge Z = 36 \sim 48^\circ$, $2V_z = 46 \sim 60^\circ$ 。(100)面を接合面とする双晶が発達するものや (100) 面に平行に斜方輝石の離溶ラメラをもつものがある。斜方輝石:

第3図 超苦鉄質・苦鉄質包有物の顕微鏡写真（説明は次頁）（各バーの長さは0.5 mm）。

径2 mm±の半自形～他形結晶で、多色性が強く、 $X = \text{黄色}$ 、 $Z = \text{黄緑色}$ を呈する。 $2V_x = 72 \sim 86^\circ$ 。(100)面に平行に単斜輝石の離溶ラメラをもつものが多い。まれに単斜輝石を包有することがある。これらの包有物中にもグループ1の包有物中のものと同様なパッチがしばしばinterstitialに含まれる。

3. ハンレイ岩および閃緑岩

径10～30 mm大のものが多く、グループ1と2の包有物より一般に大型である。これらの大部分は、単斜輝石、斜方輝石、斜長石からなるが、このほかにごく少量のカンラン石、磁鉄鉱、ヘルシナイトが含まれる

場合がある。斜長石の巨晶が輝石類をとりこんで成長したボイキリティック組織を呈するものが多いが、等粒状組織を呈するものもある(第3図)。また、これらの包有物にも超苦鉄質包有物中のものと同様なパッチがinterstitialに含まれるが、その量は超苦鉄質包有物よりも多い傾向にある。単斜輝石：径1 mm程度の淡青色の自形～半自形結晶。 $c \wedge Z = 36 \sim 48^\circ$ 、 $2V_z = 46 \sim 56^\circ$ 。(100)面に平行に斜方輝石の離溶ラメラがみられるものがある。斜方輝石：径1 mm±の半自形～他形結晶で多色性が強く $X = \text{黄色}$ 、 $Y = \text{青緑色}$ を呈する。 $2V_x = 74 \sim 82^\circ$ 。単斜輝石の離溶ラメラはみられ

第3図 超苦鉄質・苦鉄質包有物の顕微鏡写真(つづき)(各バーの長さは0.5 mm)。

1: ウェールライト(単斜輝石がカンラン石をポイキリティックに包有する。単斜輝石とカンラン石中にはクロムスピネルが包有されている)。2: レールゾライト(単斜輝石(中央)と斜方輝石(左下)にカンラン石がポイキリティックに包有されている)。3: 等粒状組織を示すウェブスタライト。4: ウェブスタライト(斜方輝石が単斜輝石をポイキリティックに包有している)。5: 等粒状組織を示す単斜輝岩(単斜輝石のみからなる)。6: 等粒状組織を示す斜方輝岩(写真の部分は全て斜方輝石。鉱物粒間に斜長石, 磁鉄鉱, 単斜輝石, ガラスからなるパッチが認められる。左下は石基)。7: ハンレイ岩(斜長石が単斜輝石, 輝方輝石, ヘルシナイトをポイキリティックに包有している)。8: ハンレイ岩(斜長石が単斜輝石と斜方輝石をポイキリティックに包有している)。9: ハンレイ岩(斜長石が単斜輝石と斜方輝石をポイキリティックに包有し, 6と同様なパッチが認められる)。10: 閃緑岩(斜長石が斜方輝石と単斜輝石をポイキリティックに包有している)。11: 閃緑岩(斜長石と斜方輝石が等粒状組織を呈する)。12: 11と同じ岩石中の斜長石, 磁鉄鉱, 単斜輝石, ガラスからなる interstitial パッチ。Ol, カンラン石; Cpx, 単斜輝石; Opx, 斜方輝石; Pl, 斜長石; Sp, クロムスピネル; He, ヘルシナイト; Mg, 磁鉄鉱; P, interstitial パッチ。

ない。斜長石：ポイキリティック組織のものでは径10 mm±大の半自形結晶が多く、等粒状組織のものでは径0.1~1 mm大の自形~半自形結晶である。ともにアルバイト双晶が発達している。カンラン石：径1 mm以下の自形~半自形結晶。割れ目に沿って緑泥石様鉱物が生じていたり、細粒磁鉄鉱の集合体となっているものがある。ヘルシナイト：0.5~2 mm大の自形~半自形（一部に他形のものもある）結晶で濃緑色を呈する。斜長石中にポイキリティックに包有されて産する。磁鉄鉱：0.3~1.5 mm大の自形~半自形結晶で斜長石中にポイキリティックに包有されて産する。

III. 鉱物の化学組成

鉱物の分析は新潟大学の日本電子X線プローブマイクロナライザー-JXA-5Aを用いて行った。

1. カンラン石

分析したカンラン石は、斜方輝石および斜方輝石と単斜輝石がカンラン石をポイキリティックに包む包有物（ハルツバージャイトとカンラン石ウエブスタライト）中のものである。代表的な分析値を第1表に示す。ハルツバージャイト中のカンラン石の中心部のFo%は83~87で、カンラン石ウエブスタライト中のカンラ

第1表 代表的なカンラン石の化学組成

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	39.26	38.32	39.96	39.47	39.33	39.62
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.03	0.07	0.04	0.03	0.03	0.05
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.09	0.09	0.00	0.03
FeO	12.61	13.24	13.71	14.18	17.01	17.86
MnO	0.21	0.20	0.22	0.21	0.19	0.16
MgO	46.85	48.03	46.16	45.04	43.36	42.91
CaO	0.13	0.17	0.17	0.08	0.08	0.13
Na ₂ O	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01	0.00
Total	99.10	100.08	100.40	99.15	100.02	100.77
Fo mol %	86.9	86.6	85.7	85.0	82.0	81.1

1-4:harzburgite (N15), 5,6:olivine websterite (N19).

第4図 包有物中のカンラン石と輝石の化学組成。

黒丸印、超苦鉄質包有物；四角印、ハンレイ岩；破線は母岩の玄武岩の斑晶カンラン石・輝石の組成範囲（周藤ら，1986）。

第5図 単斜輝石の Cr_2O_3 と Al_2O_3 の関係。
1, 超苦鉄質包有物; 2, ハンレイ岩; 3, 母岩の玄武岩の斑晶(周藤ら, 1986)。一点鎖線は包有物中の単斜輝石の組成範囲を示し、破線は斑晶単斜輝石の組成範囲を示す。

ン石は82と81のFo%を示す。これらのカンラン石のFo%は、先に周藤ら(1986)が報告した母岩の玄武岩の斑晶カンラン石のFo%(77~90)の範囲内にある(第4図)。なお、今回、母岩の玄武岩の石基カンラン石を分析したが、Fo%は63~72の範囲をしめる。

2. 輝石

カンラン石ウエブスタライト, ウェブスタライトおよび単斜輝岩中の単斜輝石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比は0.79~0.89の範囲のものであり、ハンレイ岩中の単斜輝石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比は0.74~0.80である(第4図)。これらの単斜輝石は0.25~1.30%の Cr_2O_3 を含み、3.2~7.5%の Al_2O_3 を含んでいる(第5図)。第5図には母岩の玄武岩中の斑晶単斜輝石の Cr_2O_3 と Al_2O_3 の関係も示してある。斑晶単斜輝石では Cr_2O_3 が1%以上のものはないが、 Al_2O_3 は包有物中の単斜輝石と斑晶単斜輝石はほぼ同様な値であるといえる。包有物中の単斜輝石は、6配位のAlに富むため、斑晶単斜輝石と同様に、 $\text{Al}^{\text{IV}}-\text{Al}^{\text{VI}}$ 図(第6図)においてAoki and Kushiro (1968)によるグラニュライト~玄武岩中の捕獲岩の単斜輝石の領域をしめる。斑晶単斜輝石からは $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ 分子が7.5~13.6%算出されるが(周藤ら, 1986), 包有物中の単斜輝石からもこれとほぼ同様の6.9~14.3%の $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ 分子が算出される。

斜方輝石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比は、超苦鉄質包有物中のもので0.81~0.87の範囲の値を示し、ハンレイ岩中のもので0.78~0.82の値を示す。これらの斜方輝石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比は、母岩の玄武岩の斑晶斜方輝石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比の範囲内にある(第4図)。輝石の分析値を第2表に示す。

第6図 単斜輝石の $\text{Al}^{\text{IV}}-\text{Al}^{\text{VI}}$ 図。
凡例は第5図と同じ。図中の各岩石の領域はAoki and Kushiro (1968)による。

第2表 代表的な輝石の化学組成

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	49.70	50.91	49.52	49.37	49.92	47.57	52.98	55.10	53.51	52.68
TiO ₂	0.15	0.31	0.46	0.46	0.53	0.78	0.29	0.08	0.13	0.14
Al ₂ O ₃	3.52	4.75	6.30	5.90	6.52	7.08	6.17	2.65	4.25	4.15
Cr ₂ O ₃	0.74	1.23	0.72	0.27	0.32	0.30	0.44	0.28	0.30	0.58
FeO	4.33	6.07	6.83	5.89	7.46	7.77	11.33	8.50	10.51	11.72
MnO	0.10	0.20	0.16	0.13	0.13	0.13	0.18	0.15	0.22	0.14
MgO	17.28	16.57	15.64	15.75	13.26	13.84	26.86	30.75	29.96	28.97
CaO	23.16	20.52	19.97	21.41	21.52	21.19	1.57	2.14	1.59	1.41
Na ₂ O	0.08	0.43	0.43	0.23	0.54	0.49	0.02	0.04	0.01	0.03
Total	99.06	100.99	100.02	99.41	100.20	99.15	99.84	99.69	100.48	99.82
Ca	46.0	42.5	42.4	44.7	47.0	45.6	3.2	4.2	3.1	2.8
Mg	47.5	47.7	46.2	45.7	40.3	41.4	78.2	83.0	81.0	79.2
Fe	6.5	9.8	11.4	9.6	12.7	13.0	18.6	12.8	15.9	18.0

1,8:clinopyroxenite (N20), 2,3:websterite (N05), 4,9:websterite (N28), 5,6,10:gabbro (N91), 7:harzburgite (N15).

IV. 包有物と母岩の玄武岩の成因的關係

包有物と母岩の玄武岩との成因的關係を検討する上で重要な事実がある。① 一部の超苦鉄質包有物を除き、包有物中には針状斜長石+種々の形態の磁鉄鉱±粒状単斜輝石+ガラスからなるパッチがinterstitialに含まれている。② 包有物の組織は、ポイキリティック組織または等粒状組織である。

これらの事実、超苦鉄質・苦鉄質包有物が、母岩の玄武岩質マグマから晶出した集積物であることを示唆しているであろう。①の事実は玄武岩質マグマから晶出する鉱物が集積する際に、鉱物粒間に液がトラップされたことを示唆している。

包有物中の各鉱物の玄武岩質マグマからの晶出順序は次のいくつかの事実によって推定できる。

超苦鉄質包有物中のカンラン石にはクロムスピネルがしばしば包有されていて、これらのカンラン石は全て斜方輝石または単斜輝石にポイキリティックに包有されている。多くのハンレイ岩質包有物では、輝石類は斜長石中にポイキリティックに包有されている。また、前述のように、ウェプスタライトでは、まれに斜方輝石中に単斜輝石がポイキリティックに包有されている。

これらの事実からすると、包有物中の鉱物の玄武岩質マグマからの晶出順序は、カンラン石およびクロムスピネル→単斜輝石→斜方輝石→斜長石あるいは、カンラン石およびクロムスピネル→単斜輝石および斜方輝石→斜長石であったと推定される。ハンレイ岩質包有物の一部にはヘルシナイトや磁鉄鉱が認められる。

ヘルシナイトは、火成岩中にはまれにしか含まれないが、新潟県北西部に分布する鮮新世の海川火山岩類中には斑晶大のヘルシナイトを産する(鈴木ら, 1985)。筆者の一人周藤は、このヘルシナイトを鏡下で観察する機会をもったが、ヘルシナイトは最大径約2 mmで、楕円形であったり融食形を呈するものが多い。したがって、このヘルシナイトは捕獲結晶の可能性が高い。一方、本地域のハンレイ岩質包有物中のヘルシナイトは、自形～半自形のもが多く融食形のはみられない。また、このヘルシナイトは、斜方輝石や単斜輝石とともに斜長石中にポイキリティックに包有されて産する。これらのことから、このヘルシナイトはマグマから初生的に晶出したものと考えられる。ヘルシナイトは、約858℃以上の温度で磁鉄鉱と完全固溶体をつくり、これより低温では磁鉄鉱の離溶ラメラをもつ(離溶ラメラをつくる温度は1~4000 barの間ではほとんど変化しない)ことが知られている(Turnock, 1959)が、本地域のヘルシナイトには磁鉄鉱の離溶ラメラは認められない。このヘルシナイトを含むハンレイ岩の組織からすると、ヘルシナイトは斜長石とはほぼ同時に晶出したか、あるいは斜長石に先だって晶出したものであろう。

上述のように、超苦鉄質包有物中の単斜輝石と母岩の玄武岩中の斑晶単斜輝石は共に高いAl₂O₃量とCaAl₂SiO₆分子を有しているので、両者は類似の圧力条件下で晶出したものと推定される。

謝 辞 著者の一人、一ノ瀬は、超苦鉄質・苦鉄質包有物の鏡下での観察にあたり、新潟大学の小松正

幸助教授に御指導いただいた。記して深謝の意を表する。

引用文献

- Aoki, K. (1971), Petrology of mafic inclusions from Itinome-gata, Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **30**, 314-331.
- Aoki, K. and Kushiro, I. (1968), Some clinopyroxenes from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **18**, 326-337.
- Aoki, K. and Shiba, I. (1973), Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinome-gata, Japan. *Lithos*, **6**, 41-51.
- 久野 久 (1968), 青木, 伊東著 "海洋地域の岩石—I. 高アルミナ玄武岩" の論文に対する討論. 地球科学, **22**, 195-197.
- 周藤賢治, 一ノ瀬丁巳, 滝本俊明, 八島隆一 (1986),

- 福島県東部野手上山高マグネシア玄武岩, 岩鉱, **81**, 312-323.
- 鈴木雅彦, 北脇裕士, 周藤賢治, 茅原一也 (1985), フォッサマグナ西北部の海川火山岩類, 海川貫入岩類および雨飾山貫入岩類. 新潟大理学部地鉱教室研究報告, 5号, 49-77.
- Takahashi, E. (1980), Thermal history of lherzolite xenoliths-I. Petrology of lherzolite xenoliths from the Ichinomegata crater, Oga peninsula, northeast Japan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 1643-1658.
- Turnock, A.C. (1959), Spinel. *Garnegie Inst. Washington, Year Book*, **58**, 134-137.
- Yamamoto, M. (1984), Origin of calc-alkaline andesite from Oshima-Oshima volcano, north Japan. *J.Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **21**, 77-131.