瀬戸内領家帯小大下島に産するエメリー

Emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan

西尾 大輔 (Daisuke NISHIO)*

皆川 鉄雄 (Tetsuo MINAKAWA)*

野戸 繁利 (Shigetosi NOTO)**

Limestone is accompanied with widely distributed Ryoke metamorphic rocks in islands of the Seto Inland Sea. Ko-Oge Island is situated in this zone and mainly composed of pelitic hornfels and crystalline schist rarely interbedded with dark color and massive Al-Fe rich sediments, so called emery.

Emery from Ko-Oge Island is characterized by high TiO_2 contents and by relict of primary texture such as pisolitic one. Emery can be divided, according to the mineral assemblage and texture of rocks: 1. zone of emery, 2. metasomatic zone of emery, 3. metasomatic zone of emery with limestone, and 4. metamorphic zone of another emery. The main constituent minerals of Zone 1 are corundum, hercynite, ilmenite, and plagioclase, which occur as granoblastic aggregates. Perovskite, grossular, and vesuvianite occur in Zone 3. It was concluded that emery of Zone 3 is formed by Ca metasomatism in later stage of the prograde and retrograde stages of metamorphism.

Original rock of emery is probably sediment such as laterite, rich in the TiO_2 , Al_2O_3 , and Fe oxide. The rock is composed of gibbsite, Fe-hydroxide, anatase, kaolinite, and calcite.

Keywords: Emery, Laterite, Pisolitic texture, Ko-Oge Island, Ryoke Terrane, Seto Inland Sea

I. はじめに

エメリーはコランダムあるいはスピネルを主要構成鉱物とする特殊な Al に富む岩石 (以下 Al 質岩とする) であり, 日本では九州秩父帯の大分県新木浦鉱山からコランダム, ヘルシナイト, 磁鉄鉱が共生するエメリーが初めて見いだされた (吉村ら, 1962)。その後, 岩生 (1972) により, 新木浦鉱山のエメリー中にピソライト構造が発見され, その構造および化学組成から, それまで明らかにされていなかった原岩をラテライトとした。また, Iwao (1978) は北上山地や阿武隈, 領家, 飛驒, 秩父などの変成帯に産するクロリトイド岩, 十字石岩, エメリーのような Al に富む岩石を総括し, その産状, 構造, 化学組成などから原岩および形成反応について詳細な検討を加えている。

瀬戸内領家帯の Al に富む岩石はこれまで明神島, 弓削島, 小大下島, 大三島, 睦月島から見いだされており, そのほとんどが主要構成鉱物にチタン鉄鉱をもち Ti にも富むことが報告されているが, それに伴う研究の多くが鉱物

学的なものに限られている (Sato, 1926; 吉村, 1952; Kuno, 1960; 野村, 1972; 宮久ら, 1976; 1980; Shimazaki *et al.*, 1984; 西尾・皆川, 2003)。西尾・皆川 (2001) は瀬戸内中部諸島に認められる再結晶および交代性スカルの形態とその鉱物組み合わせを報告したが, 瀬戸内領家帯の Al 質岩については岩石学的に未だ十分な検討が行われていない。小大下島のエメリーも同様に, 宮久ら (1976) により日本で 2 例目のエメリー鉱床・鉱石となること, およびその単純な鉱物構成が報告されるのみで, 総合的な検討は行われていない。本論文では, 小大下島のエメリーについて岩石学的な記載, 検討を行い, ここにその詳細を報告する。

II. 位置および地質の概略

瀬戸内中部の島嶼は芸予諸島と称され, 南部では上蒲刈島から大三島にかけて東北東-西南西の島列を成している。愛媛県越智郡関前村小大下島は芸予諸島南部島嶼のほぼ中間に当たり, 今治市の北西沖約 15 km に位置する。また, 瀬戸内の領家帯には白亜紀深成岩類が広く分布し, 中

(平成 15 年 5 月 15 日受付, 平成 15 年 7 月 25 日受理)

*愛媛大学理工学研究科生物地球科学専攻, 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 2-5

**豊茂小学校, 〒799-3461 愛媛県喜多郡長浜町豊茂甲 532

*Institute of Biology and Earth Science, Petrology and Economic Geology, Graduate school of Science-And-Engineering, Ehime University, Bunkyo-cho 2-5, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan E-mail: d-nisio@sci.ehime-u.ac.jp E-mail: minagawa@sci.ehime-u.ac.jp

**Toyoshige elementary school, Kou 532, Toyoshige, Nagahama-cho, Kita-gun, Ehime 799-346, Japan

Fig. 1. Distribution map of limestone and outcrops of emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan. Modified after Inoue and Doi (1958).

央構造線寄りの南部には片状もしくは片麻状の葉理構造の発達した花崗岩質の岩相が領家変成岩類に接し、北部には塊状ではあるが類似の花崗岩質の岩相が火山岩類と接して分布する (妹尾・松浦, 2000; 松浦 2001)。小大下島の位置はこの南部と北部の境界付近に当たる。

小大下島は主に玖珂層群に対比される砂岩、泥岩、チャート、石灰岩、緑色泥岩、酸性凝灰岩からなり (吉田, 1963; 松浦, 2001), 花崗閃緑岩による接触変成作用を受けホルンフェルス化している。石灰岩は糖晶質石灰岩で泥質岩中に径数 100 m のブロック状をなし含まれており、岡村、関前、井村鉱山の 3 か所でセメント原料として採掘された。島全体にわたってスカレン帯の発達は少ないが、岡村鉱山においてチャートとの接触帯には多量の珪灰石が生成している (井上・土井, 1958)。エメリー露頭は、Figure 1 の小大下島における石灰岩分布図に示しているように、井村鉱山の 3 か所で確認されている。エメリー鉱石は、現在でも竜ヶ鼻近辺の海岸に放置されている。

III. エメリーの産状および鉱物共生

小大下島産エメリーは泥質ホルンフェルスと接する糖晶質石灰岩中に厚さ数 cm～数 10 cm のレンズ状～層状構造をなし胚胎されている (Fig. 2)。エメリーは緑黒色～褐黒色の緻密質堅硬で、貝殻状の断口を示す。小大下島産エメリーの主要構成鉱物はグラノプラスチックに集合したコランダム、鋭錐石、灰チタン石、ヘルシナイト、チタン鉄

Fig. 2. Sketch of emery outcrop from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan.

鉱、灰ばんざくろ石、ベスブ石、斜長石などで、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱、紅砒ニッケル鉱、ダイアスポア、磁鉄鉱、燐灰石、チタン石、斜灰簾石、黒雲母、真珠雲母、クリントン雲母、緑泥石、Zr 鉱物、Bi-Te 鉱物を少量含む。全体としてはこれらの主要構成鉱物の鉱物組み合わせなどから 3 タイプ (Zone 1～3) のエメリーと 1 タイプ (Zone 4) の交代生成帯に分けられ、それらには累帯配列が認められる (Fig. 3)。すなわち、ほぼ再結晶スカレンであり、ピソライト構造などの原組織が残存する Zone 1, 原組織が消失し、灰ばんざくろ石、ベスブ石が出現する Zone 2, チタン鉄鉱が消失し灰チタン石が出現する Zone 3, ほぼ交代性スカレンといえる灰ばんざくろ石、ベスブ石からなる Zone 4

Fig. 3. Emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan.

である。Zone 4 は構成鉱物からしてエメリーには相当しない。エメリーの鉱物組織の顕微鏡観察結果を Figure 4 に示しているが、主要構成鉱物に定方向配列が認められる。この定方向配列は細粒なものほど顕著に認められ、粗粒なものほど定方位性が乏しくなる傾向が認められる。Table 1 に確認した Zone 1~3 構成鉱物の一覧表を示している。宮久ら (1976) の小大下島産エメリーの報告後、今回新たに数種類の Zr 鉱物が見いだされたが、その詳細は別に報告する予定である。以下に各 Zone について記載する。

1. Zone 1 ヘルシナイト-チタン鉄鉱-コランダム-斜長石帯

Figure 4A-a に Zone 1 の顕微鏡写真を示す。全体的に、ヘルシナイト+チタン鉄鉱がややいびつな層状構造を示し、コランダム、ヘルシナイト、斜長石が単独もしくは複数の組み合わせで球状の集合体を形成する。チタン鉄鉱は 500 μm 程度で板状の自形~半自形で層状に集合し、その周囲に 50 μm 程度の細粒濃緑色ヘルシナイトを伴う。ヘルシナイト+チタン鉄鉱は、微量の Zr 鉱物を密接に伴い、全体的な定方向配列を顕著に示す。コランダムは最大 50 μm 以下の自形~半自形の無色で、ヘルシナイト+チタン鉄鉱中には認められず、一部に濃集する傾向が認められる。濃集したコランダムは、斜長石やヘルシナイトと共に球状の集合体を構成する。ヘルシナイトも球状集合を示す場合が認められる。この単一鉱物からなる集合は原構造に由来する。

岩生 (1972) は大分県新木浦鉱山のエメリー中にピソライト様構造を見だし、そのうち、品位の高い鉱石中にはアルミナおよび鉄が不規則に、特有な輪郭を持っていることを記載している。小大下島産エメリーでは、上記の Zone 1 中に認められる球状コランダム濃集部および球状

ヘルシナイト濃集部がピソライト構造に相当する。Figure 5 に Zone 1 に見られるピソライト構造の顕微鏡写真を示す。球状集合体は長軸方向に 5~10 mm、短軸方向に 2~5 mm 程度のやや変形した楕円体状で、構成鉱物は斜長石を基質としてコランダムおよびヘルシナイトからなり、ピソライト構造中でやや偏った産状を示す。この球状集合体中のヘルシナイトは、層状に配列するヘルシナイト+チタン鉄鉱中のヘルシナイトとは非調和的な産状を示し、各球状集合体はヘルシナイト+チタン鉄鉱に取り囲まれる。

2. Zone 2 ヘルシナイト-鋭錐石-チタン石-チタン鉄鉱-灰ばんざくろ石-ベスブ石-斜長石帯

Figure 4B-b に Zone 2 の顕微鏡写真を示す。全体的に Zone 1 で見られた層状構造は弱くなり、球状構造は認められない。チタン鉄鉱は Zone 1 と比較して減少し、500 μm 程度で板状を示し、一部 50 μm 程度のヘルシナイトを伴うが、定方向の配列は著しくなく、特に密集しない (Fig. 4b)。ヘルシナイトはチタン鉄鉱に伴われるものとは別に、多くは灰ばんざくろ石もしくはベスブ石、チタン石を基質として単独で産し、その場合粒径が最大 100 μm とやや粗大化する。また、チタン鉄鉱は虫食い状に鋭錐石、チタン石に置換される場合が多い。斜長石はヘルシナイト+チタン鉄鉱の基質として少量認められる。そのほか微量の Zr 鉱物がチタン鉄鉱、鋭錐石、チタン石に伴われる。

3. Zone 3 ヘルシナイト-灰チタン石-鋭錐石-灰ばんざくろ石-ベスブ石帯

Figure 4C-c に Zone 3 の顕微鏡写真を示す。ヘルシナイトは最も多く見られ、50 μm 程度で自形~半自形を示し灰ばんざくろ石もしくはベスブ石が基質を成す。灰チタン石および鋭錐石は数 μm ~1 mm で単独で自形結晶を示すもの、もしくは半自形~他形で板状に集合するものが認めら

Fig. 4. Photomicrographs of Zones 1 to 3 of emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan. A, B, and C: scale bars indicate 1 cm. a, b, and c: scale bars indicate 0.1 mm. A and a are Zone 1, B and b are Zone 2, C and c are Zone 3. An, anatase; Hc, hercynite; Il, ilmenite; Pv, perovskite.

れる (Fig. 6)。灰チタン石および鋭錐石で板状集合を示すものは周囲にヘルシナイトを密接に伴い、さらにやや層状に定方位配列が認められ、粒間にはチタン石、磁鉄鉱が少量産出する。また、ヘルシナイト+灰チタン石+鋭錐石+灰ばんざくろ石+ペスブ石共生帯中、あるいは近接するように Zr 鉱物が認められ、灰チタン石、鋭錐石、チタン石に伴われる傾向がある。

4. Zone 4 灰ばんざくろ石-ペスブ石帯

ほぼ淡褐色の自形～半自形の灰ばんざくろ石とペスブ石から構成され、粒間を鋭錐石、灰チタン石、チタン石などが埋め、これらの鉱物中に少量のヘルシナイトが包有さ

れ、斜長石は帯中には認められない。また、この帯中にはわずかに Zone 3 に相当するエメリーが認められる。

IV. エメリーおよび主要構成鉱物の化学組成

Table 2 に小大下島産エメリー Zone 1 および周辺ホルンフェルスの全岩組成、および他産地のエメリー、ラテライト、ボーキサイトの全岩組成、Table 3 に小大下島産エメリーの各帯における主要構成鉱物の化学組成を示した。小大下島産エメリーの全岩組成は湿式分析にて決定し、主要構成鉱物の化学組成は日本電子製 JSM-5400 (EDS) を使用し ZAF 法により分析を行った。

Table 1. Constituent minerals of emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan

Mineral	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Pyrite	-	+	+
Pyrrhotite	+	+	+
Sphalerite	+	+	+
Nickeline	+	+	-
Corundum	+++	+	-
Diaspore	++	+	+
Anatase	+	++	+++
Perovskite	-	+	+++
Hercynite	+++	+++	+++
Magnetite	+	+	+
Ilmenite	+++	++	+
Apatite	+	+	+
Grossular	-	++	+++
Titanite	+	++	++
Clinozoisite	++	+	-
Vesuvianite	-	++	+++
Biotite	+	+	-
Margarite	++	+	-
Clintonite	-	+	+
Chlorite	++	+	+
Plagioclase	+++	++	-
Zr minerals	+	+	+
Bi-Te minerals	+	-	-

+++ , Abundant; ++ , Common; + , Rare; - , Absent.

1. 全岩組成

小大下島産エメリーは高い TiO_2 , Al_2O_3 および FeO を示し、大分県新木浦鉱山のコランダム質エメリーとの比較では Fe_2O_3 が乏しい。この化学的特徴は小大下島のコランダム質のエメリーはチタン鉄鉱を主要構成鉱物とし磁鉄鉱に比較的乏しいのに対し、大分県新木浦鉱山のコランダム質のエメリーは磁鉄鉱を主要構成鉱物とする点が大きく影響している。また、小大下島および大分県新木浦鉱山産エメリーはラテライトやボーキサイトと比較して Fe_2O_3 に乏しく、 FeO に富み、 H_2O に乏しい。また、小大下島産エメリーは大分県新木浦鉱山産エメリーおよびラテライト、ボーキサイトと比較して Al_2O_3 に対する TiO_2 および Fe 酸化物がやや高い。

2. 主要構成鉱物

コランダムはわずかに TiO_2 , FeO を固溶するが、全体的にはほぼ純粋に近い。ヘルシナイトは Zone 1, 2, 3 となるにつれ、 MgO の固溶量が増加する傾向が認められ、チタン鉄鉱は Zone 1 から 2 となるにつれ、わずかながら MgO が減少する傾向が認められる。また、Zone 1 において、球状に集合するヘルシナイトとチタン鉄鉱に密接に伴われるヘルシナイトとの間に大きな組成的違いは認められない。斜長石の Ca 量は Zone 1 から 2 となるにつれ増加する。また、 Ti 鉱物ではチタン石は若干の Al_2O_3 を固溶し、灰チタン石はほぼ端成分であり、鋭錐石は若干の FeO を固溶する。灰ばんざくろ石およびベスブ石は少量の TiO_2 を固溶する。

V. 小大下島産エメリーの原岩

小大下島産エメリーは、エメリーとしての Zone 1~3 と交代生成帯としての Zone 4 に分類され、Zone 1 においてはその構造、組成から交代された形跡は認められない。また、エメリーは石灰岩中に胚胎され、所々分断されているが配列が一方方向性に限られ、分断された断片にも連続性が認められることから (Fig. 2), 変成以前にレンズ状~層状構造を持っていたと考えられる。以下に Zone 1 の全岩組成から原岩を推定し、ピソライト構造の形成時期を考察する。

岩生 (1972) は大分県新木浦鉱山産エメリーの原岩をその全岩組成からラテライトと推定している。小大下島産エメリーの全岩組成も新木浦鉱山産エメリーと同様に、低い SiO_2 , および MgO , 高い TiO_2 , Al_2O_3 , および Fe_2O_3 , FeO 含有量の特徴とし、これらの特徴をもつ岩石はラテライトやボーキサイトが当てはまり、組成的にはラテライトに近い特徴を示す。ラテライトと比較してエメリー中の Fe_2O_3 , H_2O の全体に対する割合は低いが、これは風化物あるいは酸化環境において堆積した岩石が、埋没続成変成作用もしくはそれに引き続く変成作用を受け、主に脱水・還元が行われたためと考えられる。小大下島エメリーはラテライトやそれに準じる岩石と比較して、 Al_2O_3 に対する TiO_2 , 全 Fe 酸化物がやや高いが、ラテライト~ボーキサイト化作用の過程において、 Al_2O_3 の濃集とともに TiO_2 の濃集が起こることが知られており (Valeton, 1972), また、ラテライトは上部に Fe 酸化物の濃集した殻を形成することがしばしばあることから (Valeton, 1972), その際に濃集したと考えられる。

Zone 1 中では斜長石を基質とし、コランダムおよびヘルシナイトが濃集したピソライト構造が認められる。ラテライト中にもピソライト構造が知られ、一般的にそのピソライト構造の構成鉱物は含水 Al 鉱物、酸化鉄鉱物、粘土である (Valeton, 1972)。高知県桑尾では、ほぼ非変成の Al 質岩中にダイアスポアからなるピソライト構造の存在が報告されている (皆川, 1999)。このような構造およびその構成鉱物が変成作用に伴う脱水・還元によって Zone 1 のコランダムもしくはヘルシナイトからなるピソライト構造になると

Fig. 5. Constituent minerals of pisolite in Zone 1 emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan. A and B are photomicrographs of pisolitic texture, a and b are sketches of A and B, respectively.

Fig. 6. Back scatter electron image of Hercynite-Perovskite-Grossular in Zone 3 emery from Ko-Oge Island in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan. White dotted line: pseudomorph of ilmenite that replaces perovskite. Cal, calcite; Gr, grossular; Hc, hercynite; Il, ilmenite; Pv, perovskite.

Table 2. Chemical compositions of emery and related rocks

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	8.01	19.79	27.95	30.75	8.42	13.50	17.90	15.95	6.65
TiO ₂	7.10	4.12	7.45	4.42	2.67	7.00	5.31	5.52	7.27
Al ₂ O ₃	49.94	40.84	30.91	27.48	48.42	39.40	35.05	41.33	29.57
Fe ₂ O ₃	8.24	2.93	3.87	10.96	19.90	6.60	27.97	13.18	45.94
FeO	19.76	17.01	22.79	16.54	15.75	25.00	0.47	10.10	1.17
MnO	0.07	0.03	0.13	0.12	tr.	0.19	0.01	0.08	0.04
MgO	1.24	2.01	0.79	0.94	tr.	0.90	0.18	0.65	0.59
CaO	3.75	2.88	0.52	1.50	4.76	6.70	0.53	0.13	0.12
Na ₂ O	0.31	0.54	0.58	0.76	-	-	0.05	0.09	0.07
K ₂ O	0.09	3.73	1.99	0.20	-	-	0.14	1.86	0.05
H ₂ O ⁺	1.13	5.14	0.10	1.15	-	-	0.55	0.50	0.38
H ₂ O ⁻	0.39	0.57	2.20	5.23	-	-	11.30	10.35	7.74
P ₂ O ₅	0.16	0.21	0.23	0.31	-	-	0.07	0.03	0.05
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0.36	-	-	-
BaO	-	-	-	-	1.55	-	-	-	-
S	0.17	0.19	<0.02	<0.02	n.d.	n.d.	<0.02	<0.02	<0.02
Total	100.36	99.99	99.51	100.36	101.47	99.65	99.53	99.77	99.64

1: Emery from Ko-Oge Island (Zone 1). 2: Aluminium hornfels from Ko-Oge Island. 3: Andalusite-cordierite “emery” from Shinkiura. 4: Ditto from Shinkiura. 5: Corundum-spinel “emery” from Shinkiura. 6: Magnetite-spinel “emery” from Shinkiura. 7: Lateritic red shale from Kerman. 8: Lateritic red shale containing a considerable amount of greenish yellow micaceous minerals. 9: Ditto (bauxitic) from Kerman. 1-2: Analyzed by K. Ishibashi. 3-9: Iwao (1972).

考えられる。岩生 (1972) は大分県新木浦鉱山産エメリー中に認められるピソライト構造は流入ラテライトの残留構造と考察した。しかし、ラテライトはピソライト構造を顕著に保持してはいるが、土壤に近い状態であるため、それらが生成地から流出・再堆積した場合にはラテライト形成時のピソライト構造は原型を保たないと推測される。また、小大下島産エメリーは石灰岩中にレンズ状～層状で小規模に部分的に胚胎される産状から、原岩は現地性の初生的なラテライトではなく、ラテライト形成地からの流入堆積物であると推測される。ラテライトおよびボーキサイト認められるピソライト構造はいずれも Al の濃集と規模、浸透する水溶液の pH が強く影響して生成されることが知られ、その生成地は地表に限定されないため (Valeton, 1972), 組成がラテライト質で、水溶液の pH が適正ならピソライト構造は再形成される。小大下島産エメリーの Zone 1 に認められるピソライト構造はやや楕円体状ながら球状を保っているため、初生ラテライトが流入・堆積した後から変成作用を被る間に生成されたものと考えられる。

以上のことより、原岩は上部酸化鉄殻を巻き込んだ初生的なラテライトがその生成地から流出した堆積物と考えられる。同様のラテライト～ボーキサイト質起源の岩石が石灰岩に胚胎される産状から、堆積環境において Iwao (1978) は内湾性の浅海底と考察した。小大下島エメリーも石灰岩にレンズ状～層状に胚胎される産状および特徴は Iwao (1978) によって示された産状の考察の範囲内にある

ため、堆積環境もほぼ同様と考えられる。

VI. 小大下島産エメリーの形成反応

小大下島産エメリーは程度の差はあるが Zone 1 において、ヘルシナイト+チタン鉄鉱に定方向配列が顕著に認められた。また、この定方向配列が細粒なものほどより顕著に認められることから、この配列は原岩堆積時の構造を残しているか、もしくは広域変成によって形成された構造であると考えられる。再堆積したラテライト中でピソライト構造が再形成される際に、堆積時の構造はある程度破壊されると推測される。また、Al の濃集部がピソライト構造を形成するため、ピソライト構造を取り囲むように他の元素が存在すると考えられる。そのような構造を持つ岩石もしくは土壤が圧力を受けると、ヘルシナイト+チタン鉄鉱に認められるややいびつな層状定方向配列を形成すると考えられ、ヘルシナイトと密接に集合する板状チタン鉄鉱の板面がほぼ一定方向を示し、認められるピソライト構造も球状ながら、一方向に扁平した楕円形を示していることは、圧力の影響を示す。しかし、各鉱物はグラノプラスチック組織を示していることから、変成作用は圧力よりむしろ熱変成の影響が強いと推定できる。

松浦 (2001) は東部明神鼻の泥岩中から緑泥石+白雲母 (原報告では絹雲母) の鉱物組み合わせを報告しているが、これは領家変成作用による変成相を示していると考えられ、一方、南西部の泥質岩から、花崗閃緑岩による局所的な接触変成作用により堇青石+カリ長石の鉱物組み合わせ

Table 3. Chemical compositions of main constituent minerals in emery from Ko-Oge Island

	Zone 1					Zone 2						
	Hc(a)	Hc(b)	Il	Crn	Pl	Hc	An	Ttn	Il	Gr	Ves	Pl
SiO ₂	-	0.13	-	-	48.38	0.10	-	29.64	-	36.53	35.79	42.68
TiO ₂	0.19	0.15	53.84	0.51	-	0.11	97.59	35.29	53.33	1.72	2.71	0.06
Al ₂ O ₃	57.05	57.40	0.06	98.51	32.73	58.27	-	4.47	0.25	21.08	15.11	36.49
FeO*	41.44	41.31	45.13	0.90	0.33	35.99	1.18	0.54	45.16	3.23	3.86	0.16
MnO	0.12	0.12	0.32	0.20	0.04	-	0.32	-	0.35	0.05	0.43	-
ZnO	0.63	0.11	0.36	0.11	-	-	-	-	0.06	-	-	-
MgO	1.32	1.24	0.09	0.07	-	3.41	0.08	0.20	0.09	0.21	1.86	-
CaO	0.04	0.07	0.07	0.15	16.86	0.02	0.52	29.77	0.19	37.95	37.15	20.02
Na ₂ O	-	-	-	-	2.96	-	-	-	-	-	0.30	0.50
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
Total	100.79	100.53	99.87	100.45	101.30	97.9	99.69	99.91	99.43	100.77	97.21	99.96
	O=4	O=4	O=3	O=3	O=8	O=4	O=2	O=5	O=3	O=12	O=73	O=8
Si	-	0.004	-	-	2.201	0.003	-	0.970	-	2.799	17.555	1.984
Ti	0.004	0.003	1.016	0.007	-	0.002	0.987	0.867	1.010	0.099	1.000	0.002
Al	1.944	1.953	0.002	1.977	1.755	1.969	-	0.172	0.007	1.903	8.735	2.000
Fe ²⁺	1.002	0.997	0.947	0.013	0.013	0.890	0.013	0.015	0.951	0.207	1.583	0.006
Mn	0.003	0.003	0.007	0.003	0.002	-	0.004	-	0.007	0.003	0.179	-
Zn	0.017	0.002	0.007	0.001	-	-	-	-	0.001	-	-	-
Mg	0.057	0.053	0.003	0.002	-	0.146	0.002	0.010	0.003	0.024	1.360	-
Ca	0.001	0.002	0.002	0.003	0.822	0.001	0.007	1.042	0.005	3.114	19.524	0.997
Na	-	-	-	-	0.261	-	-	-	-	-	0.285	0.045
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001
Total	3.028	3.017	1.984	2.006	5.054	3.011	1.013	3.076	1.984	8.149	50.221	5.035

*Total Fe as FeO.

(a): From Hc+Il, (b): From pisolite texture

An, anatase; Crn, corundum; Gr, grossular; Hc, hercynite; Il, ilmenite; Pl, plagioclase; Pv, perovskite; Ttn,

を持つ、やや高温相のホルンフェルスを報告している。以上の事実から、小大下島産エメリーは領家変成作用を受けた後、花崗閃緑岩による接触変成作用を受け生成したと考えられる。

小大下島産エメリーは中心部から石灰岩に向かい原組織を残す Zone 1 から、交代生成帯である、灰ばんざくろ石+バスブ石帯 (Zone 4) までの累帯配列をなしている。Zone 1 は基本的に再結晶スカルンに相当し、生成鉱物は原岩の鉱物組成および化学組成に強く影響を受けると考えられる。原岩はラテライト質堆積物と推定されることから、主要反応式は例えば、

という反応が推定される。原岩の含水 Al 鉱物、酸化鉄鉱物の量比によりコランダム、ヘルシナイトの出現頻度が異なる。また、一般的にコランダムの出現は泥質岩ではグラ

ニュライト相程度の高温変成作用を示すことが多いが (例えば Bucher and Frey, 2002), 含水 Al 鉱物からのコランダム合成実験では比較的低温 (400°C 程度) でも出現することが知られていることから (例えば Kennedy, 1959), ラテライトのような構成鉱物を出発点とした反応では比較的低温でも (1), (2) の反応は起こりうる。

Ti 鉱物に関して、ラテライト中の条件では Ti 鉱物は主に鋭錐石で安定なため (例えば Jamieson and Olinger, 1969), チタン鉄鉱の出現は、例えば、

という単純な形成反応が考えられる。また、ヘルシナイトはチタン鉄鉱に密接に伴われる産状と、コランダムと共にピソライト構造を示す産状が認められるが、原岩の考察から、ピソライト構造とそれ以外の部分における組成的な相違点は Al₂O₃ の濃集程度が異なるのみであるため、チタン鉄鉱に伴われるヘルシナイトは、(1), (2) の反応において、やや含水 Al 鉱物が少ない反応を当てはめることができる。

小大下島エメリーは中心部から石灰岩側へ向かい Zone

in Ryoke Terrane, Seto Inland Sea, Japan

Zone 3					
	Hc	Pv	An	Gr	Ves
SiO ₂	-	-	0.35	36.70	35.09
TiO ₂	0.15	58.74	98.95	1.79	2.92
Al ₂ O ₃	59.03	0.61	0.35	20.05	14.64
FeO*	34.44	0.16	0.92	3.25	4.26
MnO	0.82	-	0.03	0.15	0.12
ZnO	-	-	-	-	-
MgO	5.10	-	-	0.04	2.54
CaO	0.57	41.51	-	37.58	37.97
Na ₂ O	-	-	-	-	0.02
K ₂ O	-	-	-	-	-
Total	100.11	101.02	100.60	99.56	97.56
Oxygen	O=4	O=3	O=2	O=12	O=73
Si	-	-	0.005	2.847	17.237
Ti	0.003	0.989	0.986	0.104	1.079
Al	1.956	0.016	0.005	1.833	8.476
Fe ²⁺	0.810	0.003	0.010	0.211	1.750
Mn	0.020	-	0.001	0.010	0.050
Zn	-	-	-	-	-
Mg	0.214	-	-	0.005	1.860
Ca	0.017	0.995	-	3.123	19.985
Na	-	-	-	-	0.019
K	-	-	-	-	-
Total	3.020	2.003	1.007	8.133	50.456

titanite; Ves, vesuvianite.

1 → 2 となり、石灰岩との境界に交代生成帯の Zone 4 を生じる (Figs. 3 and 4)。また、Zone 1 → 2 となるにつれ、コランダム、斜長石の減少、チタン鉄鉱中の MgO の減少、ヘルシナイト中の MgO の増加、チタン鉄鉱を虫食い状に置換する鋭錐石、チタン石などの Ti 鉱物の産出が認められる (Table 1)。灰チタン石、灰ばんざくろ石などの出現で特徴づけられる Zone 3 は、灰チタン石、鋭錐石がヘルシナイトを伴い板状に集合しており (Fig. 6)、産状から判断して、これらの鉱物はチタン鉄鉱を置き換えていると考えられる。すなわち、累進変成作用において生成したチタン鉄鉱が累進変成作用末期から後退変成作用期において Ca 交代作用によって分解し生じたと考えられ、その反応は優先的な MgTiO₃ の分解であったと考えられる。また、Zone 4 には斜長石は認められず、Ti 鉱物、ヘルシナイトが確認されることから、斜長石の分解反応も示される。そのため、例えば、

ゲイキース 石 灰長石 方解石

灰ばんざくろ石 スピネル チタン石 灰チタン石

(5)

鋭錐石

などの反応が推定される。なお、上式では、チタン鉄鉱の端成分としてゲイキース石、斜長石の端成分として灰長石をそれぞれ用いた。コランダム、斜長石、方解石の量比により、出現する灰ばんざくろ石の量比、Ti 鉱物の種類、量比が異なる。Zone 3 では、灰チタン石が鋭錐石より高い出現頻度であり、灰ばんざくろ石およびベスブ石が主要構成鉱物をなすことなどから (5) の反応より方解石が多い反応が、より促進されたと推測される。

以上のような形成反応により小大下島エメリーが形成されたと考えられる。

VI. ま と め

これまで、小大下島産エメリーはその産出、コランダム-ヘルシナイト-チタン鉄鉱の鉱物組み合わせしか報告されていなかったが (宮久ら, 1976; 西尾・皆川, 2001), 再検討の結果、Zone 1~3 のエメリーと、交代生成帯である Zone 4 とに分類されることが明らかになった。Zone 2~4 は Zone 1 の産出鉱物を基準とした交代変成反応を当てはめることができ、その反応はチタン鉄鉱中の MgTiO₃ の優先的な分解であった。

小大下島産エメリーはその化学組成からラテライトに非常に近い特徴を示すが (Table 2), その産状、規模からは初生的ラテライトが運搬・再堆積したものと考えられる。また、エメリー中のピソライト構造は初生的なラテライトの運搬・再堆積後にその規模や水溶液による変質の程度によって再形成されたものであると考えられる。

謝辞 福岡大学の石橋澄教授にはエメリーの化学組成について未発表の分析値を本論文で公表することを許していただいた。大分県新木浦鉱山産エメリーを本研究において比較参考にするために、現地へ採集に訪れた際に、延岡市の足立富男氏には現地案内を請うた。木浦エメリー株式会社の皆様にはエメリー採掘現場への立ち入りを許可していただいた。小大下島エメリーの薄片製作の際に、愛媛大学の宮久三千年教授 (故人) の採集されたサンプルを一部使用させていただいた。また、愛媛大学の榊原正幸助教授からは EDS 分析についてご指導を受けた。以上の方々に深謝致します。

引用文献

- Bucher, K. and Frey, M. (2002): Petrogenesis of metamorphic rocks. pp. 341, Springer.
- 井上秀雄, 土井啓司 (1958): 愛媛県小大下島珪灰石調査報告. 地質調査報月報, **9**, 10, 689-697.

- 岩生周一 (1972): 新木浦鉾山産“エメリー”鉾に見られるラテライト構造. 鉾山地質, **22**, 359-369.
- Iwao, S. (1978): Re-interpretation of the chloritoid-, staurolite-, and emery-like rocks in Japan- chemical composition, occurrence and genesis. *J. Geol. Soc. Japan*, **84**, 49-67.
- Jamieson, J.C. and Olinger, B. (1969): Pressure-temperature studies of anatase, brookite rutile, and TiO_2 (II): a discussion. *Amer. Mineral.*, **54**, 1477-1481.
- Kennedy, G.C. (1959): Phase relations in the system Al_2O_3 - H_2O at high temperatures and pressures. *Amer. J. Sci.*, **257**, 563-573.
- Kuno, H. (1960): Note on rock-forming minerals (16). Titaniferous pyroxene, spinel and magnetite in hornfels from Sisaka-zima Islands, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **66**, 616-618.
- 松浦治久 (2001): 三津地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), pp. 58, 地質調査所.
- 皆川鉄雄 (1999): 黒瀬川地帯白木谷層群石灰岩帯に伴われるラテライト質泥質岩の構成鉾物. 日本鉾物学会 1999 年度年会講演要旨集, 87.
- 宮久三千年, 桃井 齊, 皆川鉄雄, 野戸繁利, 松枝大治 (1980): 瀬戸内海四阪島の領家変成岩中のファッサ輝石. 岩鉾, **75**, 25-29.
- 宮久三千年, 野戸繁利, 皆川鉄雄 (1976): 瀬戸内領家帯に見出されたエメリー類似の変成岩. 三鉾学会昭和 51 年秋季講演要旨, 58.
- 西尾大輔, 皆川鉄雄 (2001): 瀬戸内中部領家変成岩に伴われるスカルンについて. 日本鉾物学会 2001 年度年会講演要旨集, 111.
- 西尾大輔, 皆川鉄雄 (2003): 明神島および睦月島に見られる Al 質スカルンに産する titanian esseneitic diopside. 岩石鉾物科学, **32**, 68-79.
- 野村 勉 (1972): 愛媛県越智郡四阪島 (明神島) のスカルン鉾物-特にいわゆるチタン輝石について. 愛媛の地学, 特別号 (堀越記念号), 81-85.
- Sato, H., (1926): On mangan-titani-pyroxene from Shisakajima. *Proc. 3rd. Pan-pacific Sci. Congr.*, 803-804.
- 妹尾 護, 松浦治久 (2000): 瀬戸内海西部, 芸予諸島の後期中新世火山岩類 (芸予火山岩類) 及び前-中期中新世火山岩類 (瀬戸内火山岩類) について. 岩石鉾物科学, **29**, 20-27.
- Shimazaki, H., Bunno, M. and Ozawa, T. (1984): Sadanagaite and magnesio sadanagaite, new silica-poor members of calcic amphibole from Japan. *Amer. Mineral.*, **69**, 465-471.
- Valeton, I. (1972): Bauxites. pp. 226, Elsevier Publishing Company, Amsterdam London New York.
- 吉田博直 (1963): 近畿・中国地方の後期中生代酸性火山岩類と“領家花崗岩類”との一, 二の地域における関係. 広島大学地学研究報告, **12**, 213-219.
- 吉村豊文 (1952): 日本のマンガン鉾床. pp. 567, マンガン研究会.
- 吉村豊文, 古川浩士, 青木義和 (1962): 大分県新木浦鉾山に見出されたエメリー鉾床. 鉾山地質, **12**, 346-352.