

## 西南日本内帯蓮華変成帯, 青海町湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩について

Eclogitic glaucophane schist from the Yunotani valley in Omi Town, the Renge metamorphic belt, the Inner Zone of southwestern Japan

### Abstract

辻森 樹<sup>\*†</sup> 石渡 明<sup>\*</sup> 坂野昇平<sup>\*\*</sup>

*Tatsuki Tsujimori<sup>\*†</sup>, Akira Ishiwatari<sup>\*</sup> and Shohei Banno<sup>\*\*</sup>*

1999年9月6日受付.

1999年12月28日受理.

<sup>\*</sup> 金沢大学理学部地球学教室

Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan

<sup>†</sup> 現所属: 岡山理科大学自然科学研究所

Present Address: Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science, Okayama 700-0005, Japan

<sup>\*\*</sup> 京都大学理学研究科名誉教授

Emeritus Professor, Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

Eclogitic glaucophane schist occurs as a boulder (about 4 m diameter) among many other garnet glaucophane schist and epidote glaucophane schist of the late Paleozoic Renge metamorphic belt in the Yunotani valley, western Omi area. The eclogitic glaucophane schist forms a mafic layer (1.2 m wide) intercalated within pelitic schist (garnet-paragonite-phengite schist). It consists mainly of glaucophane (modal volume: 37%), garnet (21%), omphacite (19%), epidote (19%), and small amount of quartz, albite, phengite, chlorite, rutile and titanite. The eclogite facies mineral assemblage 'garnet + omphacite + glaucophane + epidote + rutile + quartz' is slightly replaced by secondary chlorite, albite, calcite and rarely actinolite, and form penetrative schistosity ( $S_1$ ). The preceding epidote blueschist facies mineral inclusions 'glaucophane + epidote + titanite + quartz + albite' forming earlier schistosity ( $S_0$ ) are preserved in the rotated garnet core. These petrographic features show progressive transition from the epidote blueschist facies to the eclogite facies with little retrogression. Although the relict eclogite facies minerals have been previously found in some retrogressive Renge metamorphic rocks, the Yunotani eclogitic glaucophane schist first provides evidences for the progressive P-T path leading to the eclogite facies.

*Key words: eclogitic glaucophane schist, eclogite facies, epidote blueschist facies, Renge metamorphic belt, Hida marginal belt*

### はじめに

飛騨山地青海地域は藍閃石片岩の産地として古くから藍閃変成作用の研究が行われてきた(例えば, Banno, 1958; Miyashiro and Banno, 1958). 著者の1人 Banno (1958) は青海地域において藍閃石片岩を記載し, 泥質変成岩の鉱物組み合わせを用いて変成分帯を行った. ところが, その後, 青海地域において藍閃石片岩の詳細な研究は行われてこなかった. その理由として, 結晶片岩が連続的に露出する青海川上流およびその支流沿いに藍閃石片岩がきわめてまれなことがあげられる. 最近, 我々は Banno (1958) が全岩組成分析を行った緑色片岩試料 (SB56072804 b) の露頭がある青海町上<sup>ろ</sup>路東方約2 km の湯ノ谷ルートを調査したところ, 複数の緑れん石藍閃石片岩の露頭を確認し, 転石として多数の緑れん石藍閃石片岩とざくろ石藍閃石片岩および1つのエクロジャイト質藍閃石片岩<sup>\*</sup>を発見した (Tsujimori et al., 2000).

西南日本内帯では青海片岩 (Banno, 1958) を含む蓮華変成帯において, エクロジャイト相レリックが, 飛騨山地の八方尾根蛇紋岩メランジュ中の緑れん石角閃岩ブロック

(小松・山崎, 1981; 中水ほか, 1989) と中国山地の大佐山蛇紋岩メランジュ中のざくろ石藍閃石片岩ブロック (辻森, 1998; Tsujimori and Itaya, 1999) の2か所から報告されていた. しかし, 小論で報告するエクロジャイト質藍閃石片岩は, 後述のようにマトリクスに大量のオンファス輝石が存在し, 緑れん石青色片岩相からエクロジャイト相への累進変成作用の過程が鉱物組織から読みとれる累進的なエクロジャイト相鉱物組み合わせおよび鉱物組織を保持している点でそれらと異なる. 三波川変成帯を除いた本邦藍閃変成帯において, これまで累進的なエクロジャイト相鉱物組み合わせをもつ変成岩は知られていなかった. 本稿では, 青海町湯ノ谷産

<sup>\*</sup> 青色片岩相とエクロジャイト相の間には広い漸移帯があり, 高変成度の藍閃石片岩にはざくろ石は普通に含まれる. しかし, Miyashiro (1994) や Bucher and Frey (1994) などの教科書ではオンファス輝石 + ざくろ石が石英と共存する変塩基性岩はエクロジャイト相に属するとしている. 今回発見された岩石は石英と共存するオンファス輝石とざくろ石をそれぞれ20%程度含み, エクロジャイト相に属するとしてもよい. しかし, Carswell (1990) はざくろ石とオンファス輝石の合計が70%以上のもののみ「エクロジャイト」と定義しているため, ここではこの岩石をエクロジャイトとは呼ばず, 「エクロジャイト質藍閃石片岩」とした.

エクロジャイト質藍閃石片岩の記載岩石学的特徴と鉱物の組成共生関係について報告する。なお、藍閃石片岩も含めた詳細な岩石学、地球化学および年代学については稿を改めて別途報告する。

## 地 質 概 説

新潟県青海地域は飛驒山地のいわゆる「飛驒外縁帯」に位置し、低温高圧型結晶片岩、蛇紋岩、石灰岩などが狭い範囲に分布する (Fig. 1)。青海地域の結晶片岩について、Banno (1958) は 'Omi schist' と呼び、泥質片岩の鉱物組み合わせをもとに、低温部から高温部に向かって緑泥石帯と黒雲母帯の2帯に変成分帯した。そして、緑泥石帯から緑れん石藍閃石片岩を記載した。結晶片岩はその分布地域の南西部で下部ジュラ系の来馬層群に不整合で覆われ (小林ほか, 1957)、中央部では上部ジュラ系の手取層群に不整合で覆われる。その後、松本 (1980) は青海地域において、大小の結晶片岩が蛇紋岩のマトリクス中にテクトニックブロックとして散在するという蛇紋岩メランジュの地質を明らかにした。また、彼は Banno (1958) の変成分帯によって示された温度構造がメランジュ中での見かけの温度構造として成立していることも示した。この蛇紋岩メランジュには結晶片岩の他に、変はんれい岩、ざくろ石角閃岩、ひすい輝石岩、曹長岩、石灰岩、緑色岩類などがテクトニックブロックとして含まれる (松本, 1980; 松本ほか, 1997)。青海地域の泥質片岩中の白雲母の K-Ar 年代は変成度に関係なく約 280~330 Ma に集中する冷却年代を示す (Shibata and Nozawa, 1968; 梶座ほか, 1997)。同じような古生代後期の放射年代を示す低温高圧型の結晶片岩は、飛驒外縁帯だけでなく、中国山地や北九州の広い範囲に断片的に分布しており、1つの地質構造単位として認識されつつある。この単位は 'Sangun-Renge Belt' (Nishimura, 1990; Nakajima, 1997)、または単に 'Renge Belt' (Isozaki, 1996; Nishimura, 1998) や 'Renge metamorphic belt' (Tsuji-mori and Itaya, 1999) と呼ばれてきた。小論では、年代や構造発達史が全く異なる大江山オフィオライトを含めて「三郡-蓮華帯」または「蓮華帯」と呼ぶのは不適当と考え、古生代後期の低温高圧型結晶片岩をその構造的上位の「大江山オフィオライト」のかんらん岩体群から区別して「蓮華変成帯」と呼ぶことにする。

## 湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩の産状

今回のエクロジャイト質藍閃石片岩発見地は青海川の流域ではなく、新潟・富山県境に位置する境川水系に属する。エクロジャイト質藍閃石片岩は青海町上路から約 2 km 東方、上路川支流湯ノ谷の標高 480 m 付近 (N 36°57'37", E 137°42'48") に直径約 4 m の巨礫として見いだされた。湯ノ谷は Banno (1958) の緑泥石帯に属し、湯ノ谷の下部には手取層群の砂岩や泥岩が分布するが、石英斑岩の岩脈を挟んで、標高 365 m から 650 m 付近まで断続的に緑れん石藍閃石片岩が露出し、650 m 以上は蛇紋岩と来馬層群の礫岩の転石ばかりになる。露頭における緑れん石藍閃石片岩の片理面は、標高 540 m 地点および 600 m 地点では走向北 20 度西、傾斜西

75 度であり、標高 620 m 地点では走向南北、傾斜西 80 度であって、湯ノ谷の上流部はほぼ片理面に沿って刻まれている。この谷では沢の転石として緑れん石藍閃石片岩やざくろ石藍閃石片岩が多産する。これに対し、金山谷上流やアイサワ谷上流では藍閃石片岩は転石もまれであり、また露頭はアイサワ谷上流左岸の 1 露頭が記載されているのみである。しかし、湯ノ谷から金山谷上流にかけての来馬層と結晶片岩の境界に沿った蛇紋岩の近くに、湯ノ谷のざくろ石藍閃石片岩に含まれるような粗粒のざくろ石を伴った岩石が産し、Banno (1958) が記載した堆積起源と思われるフェンジャイトに富んだ緑れん石藍閃石片岩の転石もこの地層に由来するのだろう。今回発見された礫の全体がエクロジャイト質藍閃石片岩というわけではなく、泥質片岩 (ざくろ石-パラゴナイト-フェンジャイト片岩) を母岩として、幅約 1.2 m の層としてエクロジャイト質藍閃石片岩が産する。泥質片岩との境界は漸移的である。この産状から、エクロジャイト質藍閃石片岩は蛇紋岩メランジュ中の独立したテクトニックブロックではなく、もともと泥質片岩に挟まれた in situ エクロジャイトであったと考えられる。

現時点でエクロジャイト質藍閃石片岩の転石は 1 つであるが、ざくろ石藍閃石片岩は湯ノ谷の転石かなりの割合 (10% 程度) を占め、特に標高 550~600 m にかけて多く認められるので、この付近に相当広く分布しているものと思われる。

## 湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩および藍閃石片岩の記載岩石学的特徴

### (1) エクロジャイト質藍閃石片岩 (転石)

比較的片理が発達した粗粒の変塩基性岩であり、ざくろ石の斑状変晶 (径約 3~5 mm) と柱状のオンファス輝石 (長径約 2~5 mm) が藍閃石と緑れん石からなる濃紺色のマトリクス中に散在する (Fig. 2a)。主要構成鉱物のモード組成はざくろ石 (21%)、オンファス輝石 (19%)、藍閃石 (37%)、緑れん石 (19%) であり、ざくろ石+オンファス輝石が全体の約 40% を占める。片理 ( $S_1$ ) に垂直な方向での藍閃石と緑れん石の量比の相違による数 mm 幅の縞状構造が観察され、まれに、縞状構造は半波長約 10 cm、翼間角 60° 程度の褶曲によって曲げられていることがある。しばしば、方解石脈が片理を切る。

ざくろ石は半自形から自形で、 $S_1$  に平行に配列する包有物としてオンファス輝石、藍閃石、緑れん石、石英、ルチルを含む。特に、オンファス輝石は他の包有物に比べ粗粒なことが多く、ざくろ石中に貫入した形態を呈する (Fig. 2b)。ざくろ石のコアにはしばしば  $S_1$  に直交する  $S_1$  片理形成以前の包有物の配列 ( $S_0$ ) が認められ (Fig. 2c)、緑れん石、チタン石、石英、曹長石、燐灰石、電気石、まれに藍閃石が包有される。 $S_0$  をもったざくろ石コアにはオンファス輝石とルチルは認められない。ざくろ石は、割れ目にそって緑泥石化していたり、断片化しているものもある。断片化したざくろ石片の間を二次的な緑泥石と一緒に曹長石や方解石が埋めることがある。曹長石がざくろ石に包有されているように見える場合があっても、緑泥石や方解石を伴い、チタン石を包有する。

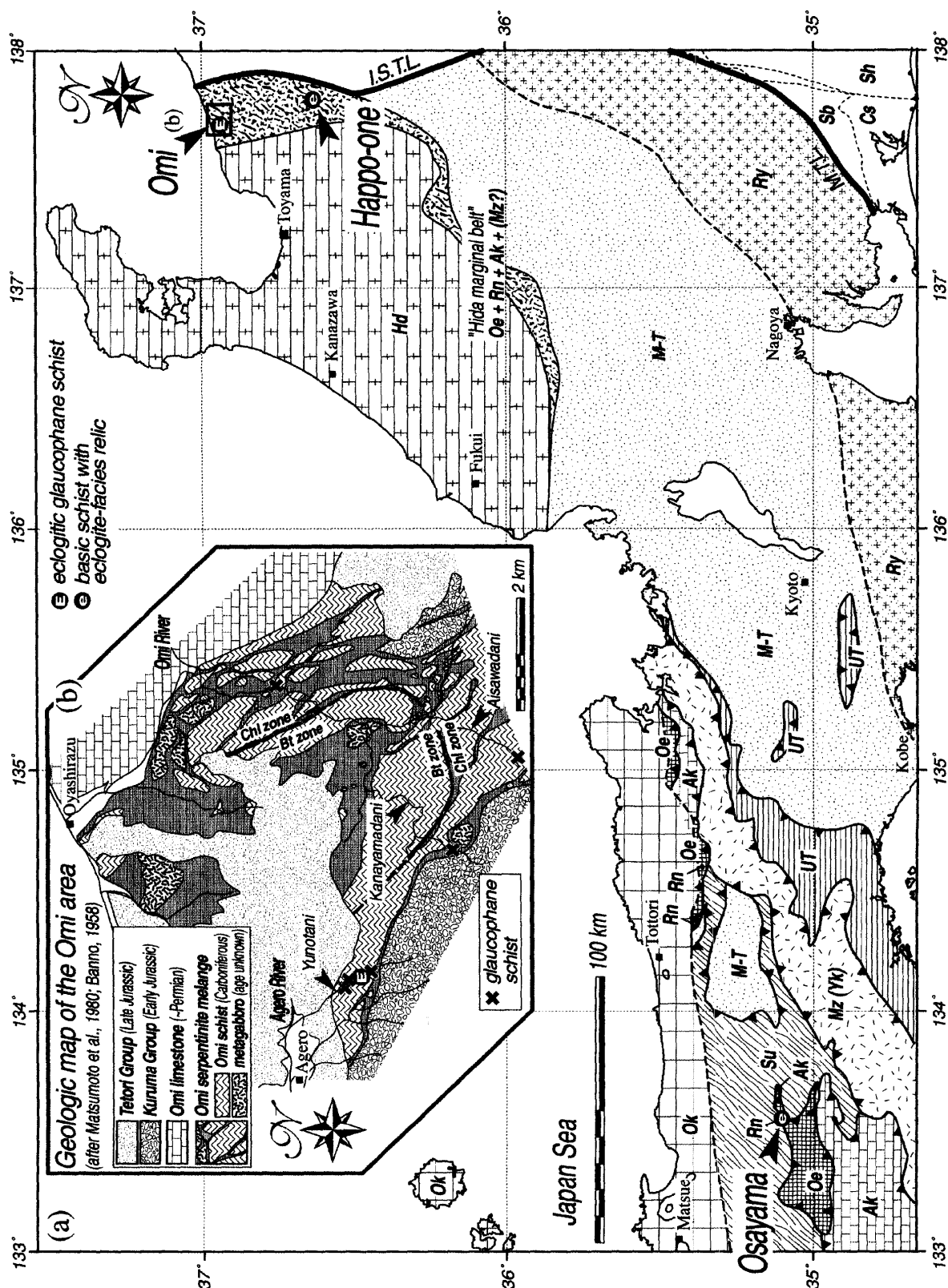
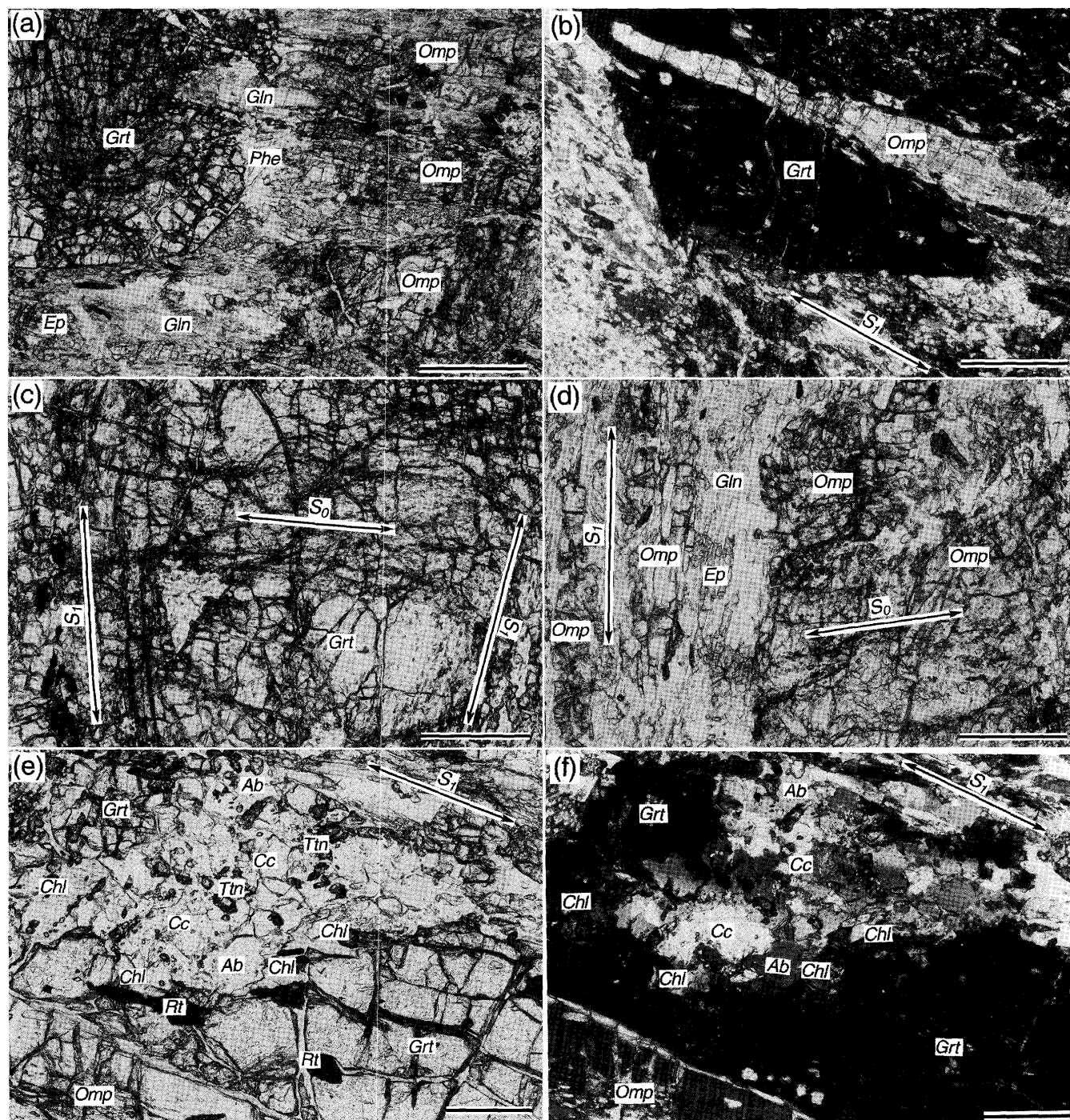


Fig. 1. (a) Geotectonic framework of the eastern Chugoku Mountains and Hida Mountains. Localities of eclogitic glaucophane schist and basic schist with eclogite facies relic from the Renge metamorphic belt are also shown. (b) Simplified geologic map of the Omi area (modified after Matsumoto, 1980 and Banno, 1958). Bold broken lines represent the boundary between Banno (1958)'s metamorphic zones. [Hd : Hida low-P/T metamorphic belt ; Ok : Oki low-P/T metamorphic belt ; Oe : Oeyama ophiolite ; HM : Hida marginal belt ; Rn : Renge high-P/T metamorphic belt ; Ak : Akiyoshi accretionary complex ; Mz : Maizuru belt with Yakuno ophiolite ; Ut : Ultra-Tamba accretionary complex ; Su : Suo high-P/T metamorphic belt ; M-T : Mino-Tamba accretionary complex ; Ry : Ryoke low-P/T metamorphic belt ; Sb : Sambagawa high-P/T metamorphic belt ; Cs : southern Chichibu accretionary complex ; Sh : Shimanto accretionary complex ; M.T.L. : Median Tectonic Line ; I.S.T.L. : Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line]



**Fig. 2.** Photomicrographs of the Yunotani eclogitic glaucophane schist. (a) Porphyroblastic garnet and omphacite coexisting with glaucophane and epidote. Open Nicol. (b) Prismatic omphacite included within garnet porphyroblast. Crossed nicols. (c) Two different inclusion trails identified in garnet porphyroblast.  $S_0$  fabric in the core is perpendicular to  $S_1$ . The  $S_1$  fabric in the rim which is parallel to a penetrative schistosity. Open Nicol. (d) Porphyroblastic omphacite containing inclusion trail ( $S_0$ ) perpendicular to a penetrative schistosity ( $S_1$ ). Open Nicol. (e) Albite coexisting with secondary chlorite and calcite adjacent to a garnet porphyroblast. Albite partly fills fracture of garnet. Open nicole. (f) The same view as (e). Crossed nicols. The scale bar is 0.5 mm, excepting (a) that is 1.0 mm and (e) and (f) that are 0.2 mm. List of abbreviations: Ab, albite; Cc, calcite; Chl, chlorite; Ep, epidote; Grt, garnet; Gln, glaucophane; Omp, omphacite; Phe, phengite; Qtz, quartz; Rt, rutile; Ttn, titanite.

**Table 1.** Selected microprobe analysis of rock-forming minerals of the Yunotani eclogitic glaucophane schist. Coexisting mineral rims in contact with each other are also listed.  $S_0$  and  $S_1$  represent inclusion within garnet core and rim respectively.

	garnet			omphacite		glaucophane			epidote			phengite	coexisting pairs in contact						
	rim	mantle	core	rim	core	matrix	S <sub>0</sub> incl.	S <sub>1</sub> incl.	matrix	S <sub>0</sub> incl.	S <sub>1</sub> incl.	matrix	[Grt host]	[Omp] incl.	[Grt rim	[Omp] rim	[Grt rim	[Omp rim	[Phe] rim
wt.%																			
SiO <sub>2</sub>	37.77	38.44	38.16	56.54	56.14	58.06	57.51	56.67	39.07	38.84	39.63	50.95	37.97	56.48	38.36	55.61	38.08	56.44	51.78
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.00	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.65	21.29	21.40	11.56	10.71	11.47	11.48	11.91	27.39	26.99	27.99	26.80	21.40	10.26	21.04	10.19	21.13	10.67	26.60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	-	-	-	-	-	-	-	-	8.53	9.07	6.88	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO**	28.21	27.73	24.82	6.66	6.46	10.64	10.52	11.06	-	-	-	2.17	27.62	6.84	27.92	7.81	27.57	7.54	2.01
MnO	0.44	0.61	3.39	0.00	0.06	0.00	0.05	0.03	0.00	0.24	0.28	0.00	0.70	0.08	0.45	0.00	0.55	0.00	0.00
MgO	2.31	2.77	1.30	6.23	6.58	9.80	9.87	9.79	0.05	0.00	0.01	3.54	2.73	7.11	2.34	6.82	2.26	6.63	3.34
CaO	9.66	9.56	11.32	11.18	11.99	0.71	1.13	1.05	23.16	23.13	23.95	0.06	9.56	12.18	10.29	12.05	9.84	11.25	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.09	0.00	8.18	7.82	7.21	6.80	7.07	0.00	0.05	0.00	0.70	0.00	7.59	0.01	7.29	0.05	7.89	0.57
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	9.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	9.81
Total	100.12	100.48	100.44	100.35	99.75	97.90	97.35	97.63	98.24	98.40	98.76	94.24	100.02	100.55	100.48	99.82	99.49	100.43	94.17
atomic ratio																			
O=	12	12	12	4	4	23	23	23	25	25	25	22	12	4	12	4	12	6	22
Si	2.988	3.021	3.014	2.004	2.005	7.937	7.904	7.789	6.061	6.040	6.099	6.854	3.001	2.004	3.023	1.997	3.026	2.006	6.941
Ti	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.001	0.003	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.003
Al	2.019	1.973	1.992	0.483	0.451	1.849	1.859	1.929	5.008	4.946	5.078	4.248	1.993	0.429	1.954	0.431	1.979	0.447	4.202
Cr	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.008	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Fe <sup>3+</sup>	-	-	-	0.072	0.081	0.158	0.188	0.290	0.995	1.062	0.797	-	-	0.084	-	0.081	-	0.085	-
Fe <sup>2+</sup>	1.867	1.822	1.639	0.126	0.112	1.058	1.021	0.981	-	-	-	0.244	1.826	0.119	1.840	0.154	1.832	0.139	0.225
Mn	0.030	0.040	0.227	0.000	0.002	0.000	0.006	0.003	0.000	0.031	0.037	0.000	0.047	0.002	0.030	0.000	0.037	0.000	0.000
Mg	0.273	0.324	0.153	0.329	0.350	1.997	2.021	2.005	0.012	0.000	0.001	0.710	0.322	0.376	0.275	0.365	0.268	0.351	0.667
Ca	0.819	0.805	0.958	0.424	0.459	0.103	0.166	0.155	3.850	3.854	3.950	0.009	0.809	0.463	0.869	0.464	0.837	0.428	0.006
Na	0.006	0.013	0.000	0.562	0.541	1.911	1.812	1.884	0.000	0.016	0.000	0.183	0.000	0.522	0.001	0.508	0.008	0.543	0.148
K	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.003	1.709	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.676
Total	8.004	7.999	7.987	4.000	4.000	15.014	14.978	15.046	15.932	15.959	15.964	13.963	8.002	4.000	7.997	4.000	7.988	4.000	13.868

\* Total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

\*\* Total Fe as FeO.

また、この産状の曹長石に取り囲まれる藍閃石に限って、アクチノ閃石のリムが観察され、まれに単独の柱状アクチノ閃石も認められる。

オンファス輝石は、長軸を  $S_1$  に平行に定向配列するものが多いが、褶曲している標本においては、褶曲軸部分に産するオンファス輝石が、 $S_1$  とは無関係にランダムに配列し、 $S_1$  とほぼ平行な方向に配列した藍閃石、緑れん石、ルチル、石英を包有する。 $S_1$  と平行な方向に配列した粗粒なオンファス輝石には、しばしば  $S_1$  に直交する包有物列が規定する  $S_0$  が観察され (Fig. 2d)、包有物として緑れん石、チタン石、石英、フェンジャイト、藍閃石、燐灰石が認めらる。オンファス輝石は、周囲や割れ目にそって緑泥石化しているものもある。

マトリクスの藍閃石は常に長軸を  $S_1$  に平行に定向配列する。藍閃石は、ざくろ石、オンファス輝石、緑れん石のいずれとも直接接し、互いに置換組織は観察されないの、平衡関係にあると判断される。マトリクスの  $S_1$  片理に少量産する曹長石は、藍閃石および緑れん石と接するが、かならず二次的な緑泥石や方解石と共存する (Fig. 2e-f)。フェンジャイトを含む標本とそうでない標本がある。フェンジャイトはざくろ石のプレッシャーシャドー部分に多く認められるが、マトリクス中にも産し、直接ざくろ石とオンファス輝石と接する場合がある。マトリクスのルチルはたいていチタン石に置換されており、しばしば、そのチタン石は自形を呈する。

## (2) エクログャイト質藍閃石片岩を挟む泥質片岩 (転石)

主として、石英、パラゴナイト、細粒の緑泥石と石英の集合体からなる柱状鉱物の仮像、フェンジャイト、曹長石から構成され、径約 3~6 mm のざくろ石斑状変晶が散在する。少

量の燐灰石、電気石を含む。ざくろ石の外形は半自形だが、リムで石英の粒間を埋めながら骨組み状に成長しているものが多い。マトリクスには Ti 鉱物として、ルチルとチタン石は互いに独立した結晶として産し、ざくろ石にはルチルのみが包有される。石英は波動消光する粗粒な粒子が、細粒結晶集合体に取り囲まれることがあり、細粒石英集合体は曹長石と伴う。曹長石は、ざくろ石を置換する緑泥石に伴って産することもある。また、パラゴナイトに富むレイヤーにも若干認められる。

## (3) ざくろ石藍閃石片岩 (転石)

フェンジャイトと藍閃石の定向配列が規定する片理がよく発達し、自形のざくろ石斑状変晶 (直径 2~12 mm) が散在する。マトリクスは藍閃石と細粒の緑れん石、石英、曹長石から構成される。ざくろ石には片理に平行な包有物列が認められ、緑れん石、ルチル、藍閃石、石英、まれに曹長石が包有物として認められる。基本的な鉱物組み合わせは、‘藍閃石+ざくろ石+緑れん石+石英+曹長石+ルチル’である。マトリクスのルチルはたいていチタン石に置換されている。ざくろ石のプレッシャーシャドーにはフェンジャイトと緑泥石が充填し、その部分にのみアクチノ閃石が認められる。

## (4) 緑れん石藍閃石片岩 (露頭)

緑泥石、フェンジャイト、藍閃石の定向配列が規定する片理がよく発達する。緑泥石とフェンジャイトに富む試料は野外では緑色の結晶片岩であるが、藍閃石に富む試料は濃紺色を呈する。‘藍閃石+緑れん石+緑泥石+フェンジャイト+石英+曹長石+チタン石’の鉱物組み合わせをもつものが多いが、まれに方解石と赤鉄鉱からなる鉱物集合体 (~3 mm) を含む片岩が認められ、その試料ではアルカリ角閃石は藍閃



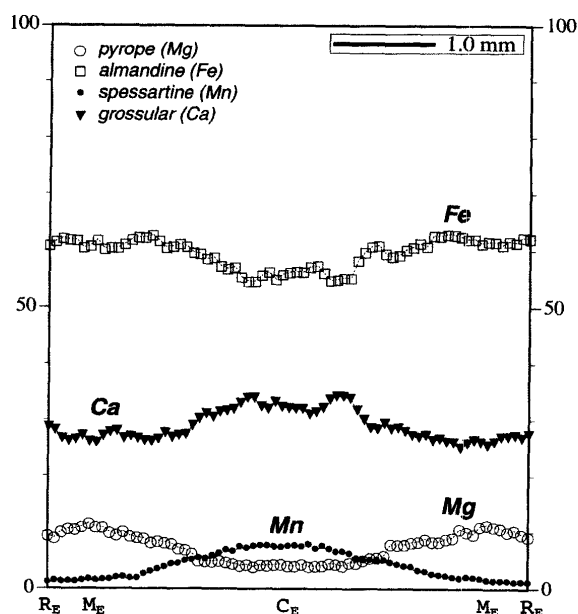


Fig. 3. Representative zoning profile of garnet porphyroblast. C<sub>E</sub>: core, M<sub>E</sub>: mantle, R<sub>E</sub>: rim.

石ではなくクロス閃石である。

### 鉱物の化学組成の特徴

構成鉱物の分析には、金沢大学共同利用センターの5チャンネル波長分散型 EPMA (JEOL JXA-8800 R) を使用し、電子プローブの加速電圧、電流 (ファラデーキャップ上)、ビーム径はそれぞれ 15 kV, 12 nA, 3 μm とした。また、補正計算は ZAF 法を用いた。湯ノ谷エクロジャイト質藍閃石片岩の主要な造岩鉱物の代表的な EPMA 分析値を Table 1 に示す。

#### (1) ざくろ石

湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩中の代表的なざくろ石の組成プロファイルを図 3 に示す。また、湯ノ谷に転石として産するざくろ石藍閃石片岩のざくろ石の組成とともに、Mn-Fe-Mg および Ca-(Fe+Mn)-Mg 三角図にプロットした (Fig. 4 a)。ざくろ石はコアからマントルにかけて Mn が減少するベル型の正累帯構造を示すが、リム付近では Mg が減少する逆累帯構造をもつ。また、Ca はコアからマントルにかけ減少し、リムで再び増加する。ざくろ石藍閃石片岩のざくろ石は同じパターンの組成累帯構造をもつが、コアの Mn はざくろ石藍閃石片岩のほうがより多く、マントル部分の Mg の最大値はエクロジャイト質藍閃石片岩のほうが高い (Fig. 4 a)。比較のため、蓮華変成帯のエクロジャイト相レリックを含む八方尾根の緑れん石角閃岩 (小松・山崎, 1981; 中水ほか, 1989) と大佐山のざくろ石藍閃石片岩 (辻森, 1998) のざくろ石の化学組成を同様の三角図にプロットした (Fig. 4 b)。湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩のざくろ石で Mg に最も富むマントルの組成は、八方尾根のざくろ石レリックに比べ Mg に富むが、大佐山のエクロジャイト相ざくろ石よりは Mg が少ない。

#### (2) オンファス輝石

オンファス輝石は Jd<sub>38-50</sub> Ae<sub>5-13</sub> Di<sub>41-53</sub> の組成をもつ (Fig. 5)。包有物列 S<sub>0</sub> をコアにもつ比較的大きなオンファス輝石斑状変晶では、そのコアでややひすい輝石成分に枯渇する場合があるが、それ以外にひすい輝石成分についての系統的な組成累帯構造は認められない。mg 値 (=Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)) は 0.62~0.85 の範囲で変化するが、ざくろ石に包有されるオンファス輝石はコアからリムに向かって mg 値が増加する場合が多い。湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩のオンファス輝石は八方尾根の緑れん石角閃岩中のオンファス輝石レリックに比べひすい輝石成分とエジリン成分が高く、また、大佐山のざくろ石藍閃石片岩中のレリックに認められるようなひすい輝石成分の増加とともにエジリン成分が減少する相関は湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩では認められず、エジリン成分はほぼ一定である。互いに接するざくろ石とオンファス輝石間の Fe<sup>2+</sup>-Mg 分配係数 (K<sub>D</sub>) は 10~30 の間で変化するが、その多くは 15~18 に集中する。

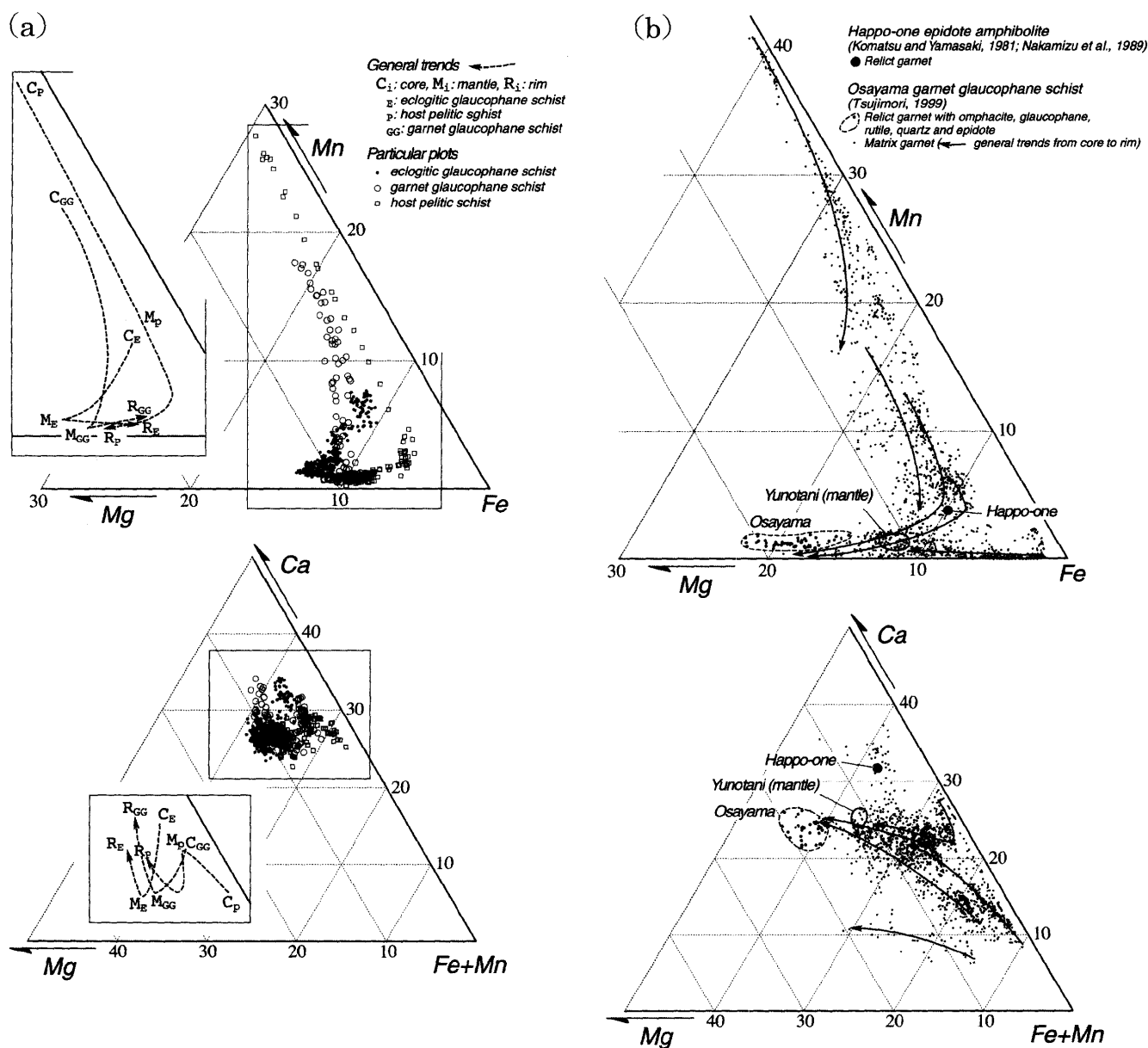
#### (3) 藍閃石

湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩、ざくろ石藍閃石片岩、緑れん石藍閃石片岩および、他地域の蓮華変成帯藍閃石片岩 (特に、大佐山のざくろ石藍閃石片岩と、箱ヶ瀬、若桜、大佐山の緑れん石藍閃石片岩) のアルカリ角閃石の化学組成を都城図にプロットした (Fig. 6)。湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩の藍閃石は狭義の「藍閃石」組成をもち、ざくろ石藍閃石片岩の藍閃石に比べやや Fe<sup>2+</sup> に富む。産状の違い (マトリクスとざくろ石中の包有物) による組成の相違は認められなかった。湯ノ谷において、高変成度岩 (エクロジャイト質藍閃石片岩およびざくろ石藍閃石片岩) の藍閃石は、緑れん石藍閃石片岩のそれに比べ、概して Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup>+Al) 比が低く、Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Mg) 比が低い傾向がある。また、湯ノ谷の緑れん石藍閃石片岩は、同じ鉱物組み合わせをもつ他の蓮華緑れん石藍閃石片岩の藍閃石と似たような組成傾向を示す。

ざくろ石を含む緑れん石藍閃石片岩のアルカリ角閃石は、等しい物理条件において緑泥石と共存するもの比べて高い Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Mg) 比をもち、都城図上のざくろ石-緑泥石の単変あるいは 1 変数反応の境界は温度上昇に伴い低 Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Mg) 側へ移動する (Hosotani and Banno, 1986)。湯ノ谷において、転石のエクロジャイト質藍閃石片岩およびざくろ石藍閃石片岩は、露頭の緑れん石藍閃石片岩に比べ低い Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Mg) 比の藍閃石を含み、前者は後者よりも変成温度が高い。

#### (4) その他の鉱物

緑れん石のピスタサイト成分 (100×Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup>+Al)) は 12 から 27 の範囲で変化するが、特に、20 以上のものはリムに限られる。フェンジャイトは Si=6.8~6.9 (p.f.u. O=22), mg 値=0.71~0.79 の組成をもち、パラゴナイト成分 (100×Na/(Na+K)) を 6.5~9.0 mole% 固溶する。フェンジャイトの Si 値はエクロジャイトを挟む泥質片岩中のパラゴナイト (パラゴナイト成分を 87.2~97.3 mole% 含む) と共存するフェンジャイト (Si p.f.u.=6.7~6.8) に比べわずかに高いが、湯ノ谷の緑れん石藍閃石片岩のそれ (Si p.f.u.=6.9~



**Fig. 4.** Chemical compositions of garnet in the Mn-Fe-Mg and Ca-(Fe+Mn)-Mg ternary diagrams. (a) Yunotani eclogitic glaucophane schist and garnet glaucophane schist. (b) Osayama garnet glaucophane schist (Tsujimori, 1999) and Happo-one epidote amphibolite (Komatsu and Yamazaki, 1981; Nakamizu et al., 1989).

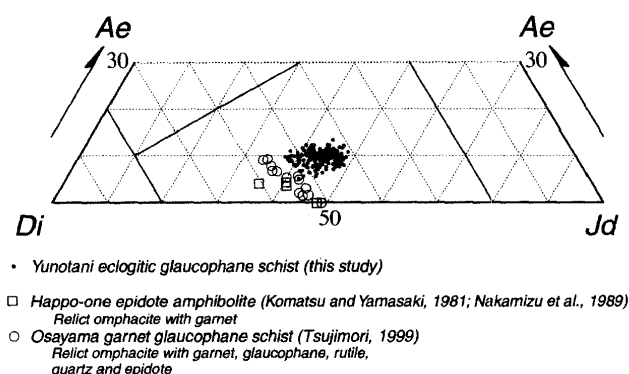
7.0) より若干低い。曹長石は  $Ab_{99-100}$  の組成をもつ。ルチルは 0.5wt.% 程度  $Fe_2O_3$  を含む。チタン石は 1.0~2.2wt.% の  $Al_2O_3$  を含む。

#### 湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩の累進変成作用

前述のように、湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩には 2 つの変形時期の片理 ( $S_0$  と  $S_1$ ) が認められる。片理  $S_1$  を構成する鉱物組み合わせ「ざくろ石+オンファス輝石+藍閃石+緑れん石+ルチル+フェンジャイト+石英」はエクロジャイト相を示し、 $S_1$  形成より前の  $S_0$  の鉱物組み合わせ「藍閃石+緑れん石+チタン石+石英+曹長石」は緑れん石青色片岩相を示す。この鉱物組み合わせと鉱物組織の変化は、湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩が緑れん石青色片岩相から累進的にエクロジャイト相に達したことを示している。

湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩のエクロジャイト相変成作用は石英を含み「藍閃石+緑れん石」の鉱物組み合わせで特徴づけられる。これは、スピッツベルゲン島 (Hirajima et al., 1988), ウラル山地 (Gomez-Pugnaire et al., 1997), シフォノス島 (Schliestedt, 1986), ニューカレドニア (Yokoyama et al., 1986; Clarke et al., 1997), フランシスカン変成帯 (Oh et al., 1991), 祁連山 (Qilian Mountains) (Wu et al., 1993), スラウェジ島 (Miyazaki et al., 1996) などの藍閃石エクロジャイトと共通する。

湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩の片理  $S_1$  には、エクロジャイト相鉱物組み合わせと一緒に曹長石が確かに存在する。しかし、それらは二次的な緑泥石や方解石と共存し、二次的に形成されたと解釈することも可能である。ざくろ石-単斜輝石地質温度計 (Eliss and Green, 1979; Krogh,

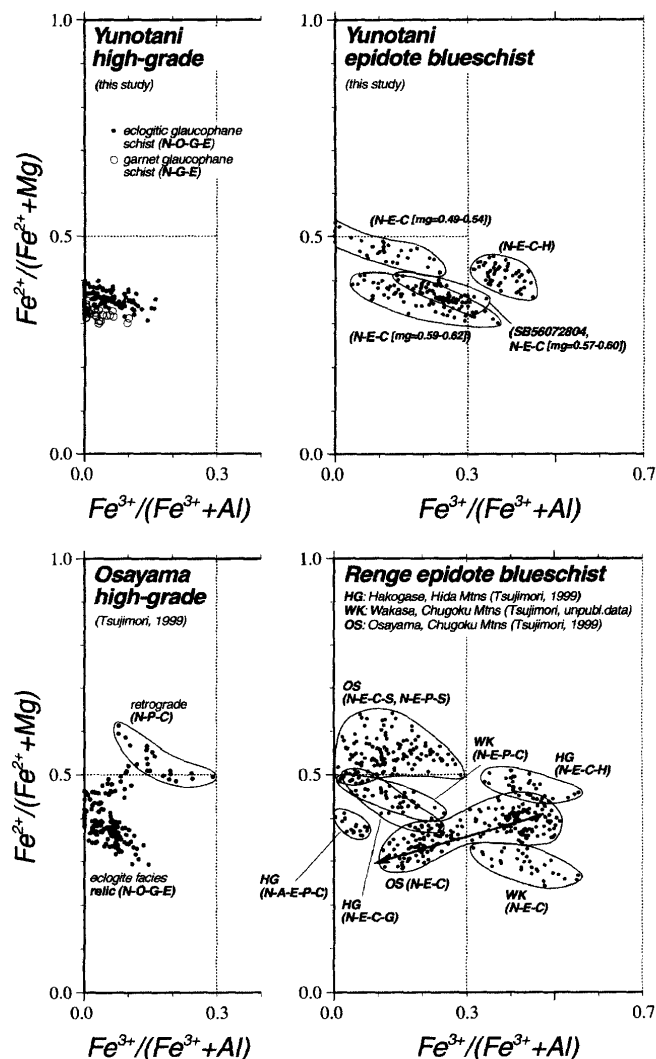


**Fig. 5.** Chemical compositions of omphacite in the Jd (jadeite) - Ae (aegirine) - Di (diopside) ternary diagram for the Yunotani eclogitic glaucophane schist. Relict omphacite in the Happo-one epidote amphibolite (Komatsu and Yamasaki, 1981; Nakamizu et al., 1989) and the Osayama garnet glaucophane schist (Tsuji-mori, 1999) from the Renge metamorphic belt are also plotted. The estimation of  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  of the omphacite is based on the assumption of four total cations, and the end-member components are calculated as  $\text{Jd} = 100 \times \text{Al}^{\text{VI}} / (\text{Ca} + \text{Na})$ ,  $\text{Ae} = 100 \times (\text{Na} - \text{Al}^{\text{VI}}) / (\text{Ca} + \text{Na})$  and  $\text{Di} = 100 \times \text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Na})$ .

1988) および、オンファス輝石のひすい輝石成分の圧力計 (Holland, 1980) は、本岩のエクロジャイト相組み合わせに対して約 550~600°C の平衡温度と、約 1.2~1.3 GPa の最低圧力を与え、ざくろ石-単斜輝石-フェンジャイト地質圧力計 (Carswell et al., 1997) は、550°C において 1.6~1.8 GPa を与える。

#### 湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩の地質学的意義

蓮華変成帯からはこれまでもエクロジャイト相変成鉱物のレリックを含む変成岩が報告されている。八方尾根の緑れん石角閃岩 (中水ほか, 1989) には、石英のレンズ状集合部にざくろ石とオンファス輝石が、また、ホルンブレンド (パロア閃石質) とゾイサイトに富む部分にオンファス輝石がそれぞれレリック鉱物として残存しており、「輝石の残存量は極めて少ない」 (小松・山崎, 1981)。彼らは、ホルンブレンドとゾイサイトの形成以前に「オンファス輝石+ざくろ石+石英」の鉱物組み合わせが安定であったと考えた。この緑れん石角閃岩には斜長石、チタン石、フェンジャイトが含まれるが、それらとエクロジャイト相鉱物の共生関係を示す記載はない。大佐山のざくろ石藍閃石片岩には、ざくろ石、オンファス輝石、藍閃石、ルチル、石英が緑れん石斑状変晶中の包有物として保存されており、「ざくろ石+オンファス輝石+藍閃石+ルチル+石英+緑れん石」がエクロジャイト相の鉱物組み合わせと考えられる (辻森, 1998; Tsujimori and Itaya, 1999)。緑れん石中のざくろ石包有物はざくろ石斑状変晶のリムの化学組成と同様の化学組成をもつ (Fig. 4b)。ざくろ石斑状変晶はルチルと石英を包有するが、オンファス輝石包有物は見いだされていない。このざくろ石藍閃石片岩は、ざくろ石斑状変晶がフェロ藍閃石と緑泥石に置換されたり、緑れん石斑状変晶がパンベリー石に置換されるような後



**Fig. 6.** Chemical compositions of Na-amphiboles in Miyashiro's  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  versus  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al})$  diagram for the Yunotani eclogitic glaucophane schist and garnet amphibolite. Na-amphiboles from the Yunotani epidote blueschist and other Renge epidote blueschist are also presented. N: Na-amphibole, O: omphacite, G: garnet, E: epidote, P: pumpellyite, C: chlorite, H: hematite, A: actinolite, S: stilpnomelane. The sample 'SB56072804' was collected by S. Banno in 1956. The estimation of  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  of the omphacite is based on the assumption of 13 cations (O = 23) excluding Ca, Na and K.

退変成作用を被っている。このように、これらのエクロジャイト相鉱物を含んだ変成岩は基本的に緑れん石角閃岩相や緑れん石藍閃石片岩相の鉱物組み合わせよりなる。しかし、湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩は、基本的に岩石全体がエクロジャイト相の鉱物組み合わせからなり、部分的に緑れん石青色片岩相からエクロジャイト相への累進変成作用の過程が観察される。

蓮華変成帯は、その結晶片岩の分布が極めて断片的なため、三波川変成帯のように広域的に精度よく温度構造や変成温度勾配を議論することは困難である。最近、辻森 (1998) および Tsujimori and Itaya (1999) は中国山地の蛇紋岩マランジュ中のブロック化した蓮華変成帯の結晶片岩の岩石学と年代学から、断片的な情報を総合し、変成帯本来の性格の



推定を試みた。そして、蓮華変成帯の一部は、ローソン石-藍閃石安定領域から緑れん石-藍閃石安定領域へ到る低温高压型変成作用（ひすい輝石+石英安定領域には入っていない）で特徴づけられ、この変成作用を被った後、急速上昇したと考えた。しかし、蓮華変成帯では、むしろ緑色片岩相や緑れん石角閃岩相の藍閃石を含まない塩基性片岩の方が多い。最近、杉村ほか（1994）は青海川沿いの泥質片岩において、カリ長石が低変成度から高変成度まで安定に存在すること、および、高変成度域では黒雲母の出現とほぼ同時に灰曹長石が出現することを見いだした。そして、杉村ほか（1996）はカリ長石が黒雲母と灰曹長石の形成反応に関与したと考え、三波川やオタゴ変成帯よりも低压の変成作用を示唆している。しかし、カリ長石の産状など、詳細はまだ公表されていない。また、青海川沿いの結晶片岩にはざくろ石角閃岩のブロックも多数含まれる。今回、報告した湯ノ谷のエクログャイト質藍閃石片岩や、湯ノ谷に多産するざくろ石藍閃石片岩および緑れん石藍閃石片岩は、青海川沿いの結晶片岩とは、変成作用の性格が異なるのかもしれない。このように、青海メランジュにはさまざまな温度圧力履歴を経た変成岩が集合している可能性は否定できないが、緑れん石藍閃石片岩相からエクログャイト相への累進変成作用を示す変成岩も確かに存在することが小論の研究で明らかとなった。

## 謝 辞

金沢大学4年生の清水 豊、市山祐司両氏には野外調査に協力していただいた。富山大学の棚座圭太郎博士・地質調査所の宮崎一博博士には査読していただき貴重な改善意見をいただいた。また、野外調査および研究の遂行には筆頭著者の平成10年度、平成11年度日本学術振興会特別研究員奨励費および第2著者の平成11年度科学研究費補助金基盤研究(C) No. 10640462を使用した。ここに記して感謝します。

## 文 献

- Banno, S., 1958, Glaucophane schists and associated rocks in the Omi district, Niigata Prefecture, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, XXIX, 29-44.
- Bucher, K. and Frey, M., 1994, *Petrogenesis of metamorphic rocks*, 6th Edition. Springer-Verlag, Berlin, 318 p.
- Carswell, D. A., 1990, Eclogites and the eclogite facies : definitions and classification. In Carswell, D. A., ed., *Eclogite facies rocks*, Blackie, Glasgow, 1-13.
- Carswell, D. A., O'Brien, P. J., Wilson, R. N. and Zhai, M., 1997, Thermobarometry of phengite-bearing eclogites in the Dabie Mountains of central China. *Jour. Metamorphic Geol.*, **15**, 239-252.
- Clarke, G. L., Aitchison, J. C. and Cluzel, D., 1997, Eclogites and blueschists of the Pam Peninsula, NE New Caledonia : a reappraisal. *Jour. Petrol.*, **38**, 843-876.
- Ellis, D. J. and Green, D. H., 1979, An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **71**, 13-22.
- Gomez-Pugnaire, M.-T., Karsten, L. and Sanchez-Vizcaino, V. L., 1997, Phase relationships and P-T conditions of coexisting eclogite-blueschists and their transformation to greenschist-facies rocks in the Nerkau Complex (Northern Urals). *Tectonophysics*, **276**, 195-216.
- 棚座圭太郎・相馬恒雄・山本和樹・曾出昌宏・武田知之・川合亜希

- 子・板谷徹丸, 1997, 飛騨外縁帯の構造論 : 変成岩類の岩石学的・年代学的性質による制約. 研究成果報告書 (基盤研究 C) 棚座圭太郎「飛騨外縁帯の変成岩類の岩石学的年代学的検討」, 25-32.
- Hirajima, T., Banno, S., Hiroi, Y. and Ohta, Y., 1988, Phase petrology of eclogites and related rocks from the Motalafjella high-pressure metamorphic complex in Spitsbergen (Arctic Ocean) and its significance. *Lithos*, **22**, 75-97.
- Holland, T. J. B., 1980, The reaction albite=jadeite+quartz determined experimentally in the range 600-1,200°C. *Amer. Mineral.*, **65**, 129-134.
- Hosotani, H. and Banno, S., 1986, Amphibole composition as an indicator of subtle grade variation in epidote-glaucophane schist. *Jour. Metamorphic Geol.*, **4**, 23-35.
- Isozaki, Y., 1996, Anatomy and genesis of a subduction-related orogen : A new view of geotectonic subdivision and evolution of the Japanese Island. *The Island Arc*, **5**, 289-320.
- 小林貞一・小西健二・佐藤 正・速水 格・徳山 明, 1957, 来馬層群 (ジュラ系下部). 地質雑, **63**, 182-194.
- 小松正幸・山崎哲夫, 1981, 八方尾根地域の変成岩に関する新知見一堆积性蛇紋岩, エクログャイト, ヒスイ輝石-石英の組み合わせをもつ岩石について一. 飛騨外縁帯, no. 2, 1-11.
- Krogh, E. J., 1988, The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer : a reinterpretation of existing experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **99**, 44-48.
- 松本謙一, 1980, 飛騨外縁帯, 青海地域の蛇紋岩メランジュ. 飛騨外縁帯, no. 1, 1-14.
- 松本謙一・棚座圭太郎・杉村和子・南光隆弘・相馬恒雄・板谷徹丸, 1997, 飛騨外縁帯青海地域の蛇紋岩メランジュの変成作用と変成年代. 研究成果報告書 (基盤研究 C) 棚座圭太郎「飛騨外縁帯の変成岩類の岩石学的年代学的検討」, 9-18.
- Miyashiro, A., 1994, *Metamorphic petrology*. UCL Press, London, 404 p.
- Miyashiro, A. and Banno, S., 1958, Nature of glaucophanitic metamorphism. *Amer. Jour. Sci.*, **256**, 97-110.
- Miyazaki, K., Zulkarnain, I., Sopaheluwakan, J. and Wakita, K., 1996, Pressure-temperature conditions and retrograde paths of eclogites, garnet-glaucophane rocks and schists from South Sulawesi, Indonesia. *Jour. Metamorphic Geol.*, **14**, 549-563.
- Nakajima, T., 1997, Regional metamorphic belts of the Japanese Islands. *The Island Arc*, **6**, 69-90.
- Nishimura, Y., 1990, "Sangun metamorphic terrane" : Terrane problem. In Ichikawa, K., et al., eds., *Pre-Cretaceous terranes of Japan*, Osaka City University, Publication of IGCP Project 224, 63-79.
- Nishimura, Y., 1998, Geotectonic subdivision and areal extent of the Sangun belt, Inner Zone of Southwest Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 129-140.
- 中水 勝・岡田昌治・山崎哲夫・小松正幸, 1989, 飛騨外縁帯, 青海-蓮華メランジュの変成岩類. 地質学論集, no. 33, 21-35.
- Oh, C. W., Liou, J. G. and Maruyama, S., 1991, Low-temperature eclogites and eclogitic schists in Mn-rich metabasites in Ward Creek, California ; Mn and Fe effects on the transition between blueschist and eclogite. *Jour. Petrol.*, **32**, 275-301.
- Schliestedt, M., 1986, Eclogite-blueschist relationships as evidenced by mineral equilibria in the high-pressure metabasic rocks of Sifnos (Cycladic Islands), Greece. *Jour. Petrol.*, **27**, 1437-1459.
- Shibata, K. and Nozawa, T., 1968, K-Ar age of Omi schist, Hida mountains, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **19**, 243-246.
- 杉村和子・中村保夫・相馬恒雄・棚座圭太郎・松本謙一, 1994, カリ長石を伴う変成作用 : 飛騨外縁帯青海結晶片岩. 日本質学会第101年学術大会 (札幌) 演旨, 242.
- 杉村和子・中村保夫・相馬恒雄・棚座圭太郎・松本謙一, 1996, 黒雲母と灰曹長石の生成反応をもとにした変成帯の比較. 地球惑星科学関連学会合同学会 (大阪) 演旨, 506.
- 辻森 樹, 1998, 中国山地中央部, 大佐山蛇紋岩メランジュの地質 :

- 大江山オフィオライトの下に発達した 320 Ma 青色片岩を含む蛇紋岩メランジュ. 地質雑, **104**, 213-231.
- Tsujimori, T., 1999, Petrology of Paleozoic high-pressure metamorphic rocks in southwestern Japan: petrologic and geochronologic constraints for Paleozoic subduction tectonics. *Doctor thesis, Kanazawa Univ.*, 343 p.
- Tsujimori, T., Ishiwatari, A. and Banno, S., 2000, Discovery of eclogitic glaucophane schist from the Omi area, Renge metamorphic belt, Inner Zone of southwestern Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **106**, I-II.
- Tsujimori, T. and Itaya, T., 1999, Blueschist-facies metamorphism during Paleozoic orogeny in southwestern Japan: phengite K-Ar ages of blueschist-facies tectonic blocks in a serpentinite melange beneath Early Paleozoic Oeyama ophiolite. *The Island Arc*, **8**, 190-205.
- Wu, H., Feng, Y. and Song, S., 1993, Metamorphism and deformation of blueschist belts and their tectonic implications, North Qilian Mountains, China. *Jour. Metamorphic Geol.*, **11**, 523-536.
- Yokoyama, K., Brothers, R. N., Black, P. M., 1986, Regional eclogite facies in the high-pressure metamorphic belt of New Caledonia. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, **164**, 407-423.

## (要 旨)

辻森 樹・石渡 明・坂野昇平, 2000, 西南日本内帯蓮華変成帯, 青海町湯ノ谷のエクロジャイト質藍閃石片岩について. 地質雑, **106**, 353-362. (Tsujimori, T., Ishiwatari, A. and Banno, S., 2000, Eclogitic glaucophane schist from the Yunotani valley in Omi Town, the Renge metamorphic belt, the Inner Zone of southwestern Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **106**, 353-362.)

蓮華変成帯, 新潟県青海町<sup>あげろ</sup>上路地区湯ノ谷にエクロジャイト質藍閃石片岩が産する. この岩石は主として藍閃石 (37%), ざくろ石 (21%), オンファス輝石 (19%), 緑れん石 (19%) と少量の石英, 曹長石, フェンジャイト, 緑泥石, ルチル, チタン石から構成される. エクロジャイト相鉱物組み合わせ 'ざくろ石+オンファス輝石+藍閃石+緑れん石+石英+ルチル' はマトリックスの片理 ( $S_1$ ) を構成し, わずかに二次的な緑泥石, 曹長石, 方解石に置換され,  $S_1$  片理形成以前の緑れん石青色片岩相の鉱物組み合わせ '藍閃石+緑れん石+チタン石+石英+曹長石' の包有物列 ( $S_0$ ) がざくろ石のコアに観察される. 蓮華変成帯では, これまでにも残存エクロジャイト相鉱物の報告はあったが, 今回, 岩石組織と鉱物化学組成・累帯構造から, 初めて, 緑れん石青色片岩相からエクロジャイト相への累進変成作用を読みとることができた.