報 告

日高変成帯南部, 黄金道路沿いに露出するかんらん石ノーライトの岩石学的特徴

Petrological features of olivine-norite along the Ougon-douro, southern part of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido

志村俊昭¹ 小島 萌² 大橋美由希³
山根幹生⁴ Anthony I. S. Kemp⁵

Toshiaki Shimura¹, Moeru Kojima²,
Miyuki Ohashi³, Mikio Yamane⁴ and
Anthony I. S. Kemp⁵

2018年3月21日受付. 2018年6月17日受理.

¹ 山口大学大学院創成科学研究科 Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi University, Yamaguchi 753-8512, Japan

² サンコーコンサルタント(株) Sanchon Consultants Co., Ltd.

³ 株式会社たまのや Tamanoya Co., Ltd.

⁴ 有限会社テリリサーチ Terre Research Co., Ltd.

⁵ School of Earth Sciences, University of Western Australia

Corresponding author: T. Shimura, smr@yamaguchi-u.ac.jp

Abstract: Small olivine-norite bodies crop out along the Ougon-douro, southern part of the Hidaka metamorphic belt. This outcrop has been visited by many geological excursions since the 1970s. However, the geological relations with the adjacent igneous rocks were unclear because the intrusive boundaries were covered by talus for many years. These boundaries could, however, be observed from 2014 to 2017. The olivine-norite bodies might constitute syn-plutonic dykes in the biotite granodiorite. It mainly consists of orthopyroxene, plagioclase, olivine, amphibole, phlogopite, and clinopyroxene, in order of abundance. They include small amount of chromite, magnetite, titanite, pyrrhotite, pentlandite, and chalcopyrite. Serpentinite and chlorite occur around mafic minerals. The rocks are modally classified as olivine-melanorite to olivine-melagabbro. Geochemically, these rocks have negatively sloped chondrite-normalized REE patterns. The Sr and Nd isotope ratios are enriched relative to typical MORB.

Keywords: Hidaka metamorphic belt, Oshirabetsu, gabbro, syn-plutonic dyke, REE, Sr and Nd isotopes

はじめに

日高変成帯は北海道中央部の南部に位置する低 P/T 比型の広域変成帯で (Fig. 1), 島弧地殻の衝上断片であるとされた (Komatsu et al., 1983; 小山内ほか, 2006 など). Kemp et al. (2007) は, ジルコン U-Pb 年代に基づき, 日高変成帯は 37 Ma 頃と 19 Ma 頃の 2 回の熱パルスを受けて形成さ

れたことを示した. 19 Ma 頃の熱パルスに対応するジルコン U-Pb 年代としては, グラニュライト相変成作用の年代のほか, 最下部 S タイプトーナル岩, パンケヌシ斑れい岩体, 日勝峠花崗岩体, 佐幌岳花崗岩体などが報告されている (Usuki et al., 2006; Kemp et al., 2007; Jahn et al., 2014). 一方, 37 Ma 頃の熱パルスに対応する年代として, ヌピナイ花崗岩体, 中部 I/S タイプトーナル岩, 音調津周辺地域の深成岩類, 上部層の片麻岩などがある (Kemp and Shimura, 2006; Kemp et al., 2007; 小島・志村, 2014; 小島ほか, 2015; 高橋ほか, 2018).

音調津地域の斑れい岩類は, 主に音調津川周辺の山中に産するが (Fig. 1), 本報告の露頭は国道 336 号 (通称「黄金道路」) のすぐ脇にある (Fig. 2). アクセスの良い場所にあることから, この露頭は学会巡検などでよく利用されてきた (鈴木ほか, 1974; Komatsu et al., 1992; 小山内ほか, 1994; Owada et al., 2003; 高橋ほか, 2018 など). 舟橋・橋本 (1951) は, 本報告のかんらん石ノーライトに相当すると思われるものを「ピクライト」とよび, 「岩脈として発達しているが, 他の岩体に比べると小規模」という記述がみられる. 橋本・武田 (1960) は同岩体に相当すると思われるものを「かんらん石はんれい岩」とした. 鈴木ほか (1974) は同岩体を「ピクライト質はんれい岩」とよび, 「ピクライト質はんれい岩は花崗岩を岩脈状に貫いており」という記述がみられる.

Fig. 1. Location of the Hidaka metamorphic belt (HMB) and simplified geological map of the Oshirabetsu area (modified after Takahashi, 1983).

Fig. 2. Geological route map along the Ougon-douro. Topographic map is from the Geospatial Information Authority of Japan. MME: mafic magmatic enclave.

しかしこの露頭の斑れい岩体の周囲は、その後長らく崖錐堆積物に覆われてしまった。このため他の火成岩体との地質学的関係が不明確となり、これまで詳細な記載報告も無かった。この崖錐堆積物は2014年頃の工事で取り除かれたため、周囲との関係をよく観察できるようになった。しかし2017年10月には土石流堆積物で露頭下部2 m程度が完全に埋没してしまった。現在、この露頭上部は落石防止用の金網で覆われ、露頭下部は崖錐などで再び埋没しつつある。

この露頭は音調津地域の主な岩型とその相互関係が1か所で観察でき、日高変成帯の37 Maの熱パルスを示す貴重な露頭と思われる。しかし今後、崩落・埋没・工事などによりこの露頭は失われてしまうかもしれない。その前に、本報告でこの露頭の記載を残しておきたい。なお本論で使用する鉱物名の略号はWhitney and Evans(2010)に従った。

地質概説

Fig. 1に音調津周辺地域の地質図を示す。音調津地域は日高変成帯南部に位置し、苦鉄質岩～珪長質岩までの多様な深成岩類が分布し、南北約10 km、東西約10 kmの深成岩体を構成している(舟橋・橋本, 1951; 猪木・秦, 1956; 橋本・武田, 1960; Takahashi, 1983など)。このうち苦鉄質～中性質の深成岩体をTakahashi(1983)は「Oshirabetsu gabbroic mass」、Owada et al.(2003)は「Oshirabetsu gabbroic complex」とよんだ。本論ではこの地域の苦鉄質～珪長質までの深成岩類を全て含めて「音調津深成複合岩体(Oshirabetsu Plutonic Complex)」とよぶことにする。音調津深成複合岩体は、主にかんらん石斑れい岩類、ノーライト～閃緑岩類、花崗閃緑岩類から構成され(Takahashi, 1983)、グラファイトや硫化鉱物の鉱床を胚胎することでも知られている(金, 1966; Bamba, 1981; 土屋ほか, 1991など)。音調津深成複合岩体周囲には角閃岩相低温部以下の変成岩層が分布している(Shiba, 1988; 柴・菅野, 1995)。

音調津深成複合岩体に関する放射年代としては、河野・植田(1967)は黒雲母花崗閃緑岩から36 Maの黒雲母K-Ar年代を報告した。Ishihara and Terashima(1985)はノーライトから35.3 Maの黒雲母K-Ar年代を、佐伯ほか(1995)は岩体近傍の黒雲母片岩や黒雲母ホルンフェルスから34.9～34.5 Maの黒雲母K-Ar年代を報告している。小島ほか(2015)は、かんらん石斑れい岩類・ノーライト～閃緑岩類・花崗閃緑岩類の全てから約37 MaのジルコンU-Pb年代を報告した。志村ほか(2015)は閃緑岩中の泥質グラニュライト捕獲岩から37.8 MaのジルコンU-Pb年代を報告した。本報告のかんらん石ノーライトからは、ジルコンやモナザイトは発見されていないので、この岩体の放射年代は不明である。しかし前述の年代などに基づいて、小島ほか(2015)、志村ほか(2015)は音調津深成複合岩体が37 Ma頃の熱パルスにより形成されたとしている。

黄金道路沿いの地質と岩石

国道336号の広尾町広尾橋～えりも町庶野の区間は道路工事の難所で、黄金を敷き詰められる程の工事費用を要したという意味から「黄金道路」と呼ばれている。音調津地域の山中の露頭状況は良くないが、黄金道路沿いには好露頭が連続している。黄金道路沿いの深成岩分布範囲のルートマップをFig. 2に示す。黄金道路は現在でも道路工事が継続して行われており、露頭状況は日々変化している。このルートマップは1984年～2017年の間の状況を総合的に描いている。

1. ホルンフェルス

南端部と北端部にはホルンフェルスが分布している。暗褐色細粒の岩石で、主として黒雲母・斜長石・石英で構成されている。ルートマップ南端部には、ホルンフェルスを貫くドレライト岩脈(Maeda, 1981)の一つがあったが(Fig. 2)、現在その露頭は道路工事により失われている。

2. 黒雲母花崗閃緑岩

明灰色粗粒～中粒塊状・等粒状の岩石で、片理が明瞭な

10 cm 以下の黒雲母片岩を包有することがある。黒雲母花崗閃緑岩の主要構成鉱物は黒雲母・斜長石・石英・カリ長石で、まれに普通角閃石や白雲母を含む。ザクロ石・黒雲母を含むアプライト質岩脈に切られる。

3. 黒雲母花崗閃緑岩と普通角閃閃緑岩の混在部

基質の黒雲母花崗閃緑岩は前述とほぼ同様であるが、やや優黒・細粒で、流理構造がみられることがある。次に述べる普通角閃閃緑岩の苦鉄質包有岩(MME)を含む。MMEは5~30 cm 程度の球状をなして産する。MMEに富む部分は、普通角閃閃緑岩体の北側に分布する傾向がある(Fig. 2)。

4. 普通角閃閃緑岩

青灰色~灰白色細粒塊状の岩石で、黒雲母花崗閃緑岩に接して産するか、黒雲母花崗閃緑岩内の MME としてみられる。岩体内に黒雲母片岩・紅簾石黒雲母片岩・石灰珪質片岩を包有することがある。主要構成鉱物は普通角閃石・黒雲母・斜長石・石英・チタン鉄鉱で、少量の直方輝石(斜方輝石)やカミングトン閃石を含むことがある。次に詳述する露頭の前の海岸には、直方輝石を多く含む岩相がみられる。

5. かんらん石ノーライト

かんらん石ノーライトは、黄金道路の宝浜第三覆道(北側)とピタタヌンケ覆道(南側)の間の西側の岩壁(42°10'03.5"N, 143°19'43.5"E)に露出する(Fig. 2)。北側から順に A・B・C の 3 岩体がみられる(Figs. 3, 4)。黒色中粒塊状の岩石で、黒雲母花崗閃緑岩体中に A 岩体は岩株状、B・C 岩体は岩脈状の形態で産する。かんらん石ノーライトと黒雲母花崗閃緑岩は双方とも塊状で、両者の接触境界部には双方とも明瞭な急冷縁はみられない。一方、境界付近の黒雲母花崗閃緑岩中には、1~5 cm 大の、丸みを帯びたかんらん石ノーライトのエンクレープが少量みられる(Fig. 3 には概念的に大きく示してある)。A 岩体にはあまり変形は認められないが、B・C 岩体の縁辺部は剪断面が発達し片状化している。岩脈状の形態やエンクレープの産状などから、かんらん石ノーライトは黒雲母花崗閃緑岩中のシンプルトニック岩脈である可能性がある。

かんらん石ノーライトの構成鉱物の観察と同定は、透過・反射偏光顕微鏡および山口大学機器分析施設に設置された日本電子製走査型電子顕微鏡(JSM-6360LA)と付属の EDS 検出器(JED-2300)でおこなった。定量分析は同施設の日本電子製 EPMA(JXA-8230)で加速電圧 15 kV、プローブ電流 20 nA でおこなった。モード測定は志村・小島(2015)の方法によった。Table 1 に、鉱物の代表的な化学組成を示す。

斑れい岩の主要構成鉱物はいくつ順に直方輝石(約 34%)・斜長石(約 22%)・かんらん石(約 19%)・角閃石(約 7%)・金雲母(約 6%)・単斜輝石(約 5%)である(Fig. 5a)。Streckeisen(1976)のモード組成分類に従うと olivine-melanorite~olivine-melagabbronorite に分類されるが、本論ではより広義の名称で「かんらん石ノーライト」とよぶことにする。少量のクロム鉄鉱・磁鉄鉱・チタン鉄鉱・磁硫鉄鉱・ペントランド鉱・黄銅鉱を含む(Fig. 5)。苦鉄質鉱物の周囲やクラックに沿って蛇紋石や緑泥石がみられる。

かんらん石は $X_{Mg}^* = 0.82 \sim 0.84$, $NiO = \text{最大 } 0.12 \text{ wt\%}$ で、

Fig. 3. Schematic map of an olivine norite outcrop showing orientation data of intrusive boundaries. Stars indicate sampling sites.

Fig. 4. Field photo of an olivine norite outcrop, taken in September 2014, before it was partly buried by a debris flow deposit (~2 m depth).

0.5~5 mm 程度の自形~半自形で産する。周囲が蛇紋石に置換されているほか、クラックに沿って蛇紋石と磁鉄鉱を産する。

直方輝石は $Ca : Mg : Fe = 1.1 \sim 3.2 : 83 \sim 86 : 13 \sim 15$ で、 $X_{Mg}^* = 0.85 \sim 0.87$ である。6 mm 程度以下の他形で産する。オープンニコルではごく僅かに淡褐色を帯びる。(100)面に平行に単斜輝石の離溶ラメラがみられる。自形~半自形のかんらん石と斜長石をポイキリティックに包有する。

単斜輝石は $Ca : Mg : Fe = 38 \sim 48 : 47 \sim 54 : 4.8 \sim 7.7$ で、 $X_{Mg}^* = 0.88 \sim 0.91$ である。多くは 2 mm 程度以下の他形で産するが、5~7 mm の大きな結晶がみられることもある。オープンニコルではごく僅かに淡緑褐色を帯び、僅かに多色性がある。(100)面に平行に直方輝石の離溶ラメラがみられる。リムに角閃石の細粒結晶を虫食い状に伴い、周囲が角閃石に囲まれることが多い。大きな結晶は自形~半自形のかんらん石を包有する。

角閃石は $X_{Mg}^* = 0.84 \sim 0.87$, $Si = 6.2 \sim 6.5$, $Ca_B = 1.67 \sim 1.80$, $(Na+K)_A = 0.72 \sim 0.95$ のパーガス閃石である。4 mm 程度以下の他形で産する。単斜輝石周囲に密接に産することが多い。多くは $X = \text{無色} \sim \text{淡緑黄色}$, $Y = Z = \text{褐色}$ の

Table 1. Representative mineral compositions of the olivine norite. Cations of minerals are calculated on the basis of oxygen atoms. Fe_2O_3 , FeO , Fe^{3+} , and Fe^{2+} of chromite are calculated by stoichiometry. $X_{\text{Mg}}^* = \text{Mg} / (\text{total Fe} + \text{Mg})$, $X_{\text{Mg}} = \text{Mg} / (\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$, $An = 100 \times \text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$.

Sample#	OG24	OG24 170720	OG24	OG24 170720	OG24 170720	OG24 170720	OG24	OG24 170720	OG24	OG24 170720
Mineral	Ol	Opx	Cpx	Cpx	Amp	Amp	Phl	-01A Pl	Pl	Chr
					high-Ti	low-Ti				Chr
(wt.%)										
SiO_2	39.69	55.83	53.02	53.64	44.40	46.26	40.77	50.77	48.75	0.00
TiO_2	0.00	0.36	0.40	0.39	4.12	0.13	1.04	0.00	0.02	0.64
Al_2O_3	0.02	1.60	2.40	2.28	10.54	12.70	16.87	31.86	32.93	20.31
Cr_2O_3	0.00	0.48	1.06	1.00	1.00	0.03	0.32	0.00	0.00	43.40
Fe_2O_3										1.64
FeO	16.25	8.94	4.35	3.20	5.30	5.09	5.42	0.02	0.04	27.84
MnO	0.25	0.22	0.13	0.14	0.10	0.12	0.00	0.01	0.02	0.42
MgO	43.74	31.37	18.33	16.23	17.03	18.61	22.08	0.00	0.01	4.45
CaO	0.02	1.45	19.94	22.69	11.72	11.33	0.04	14.31	15.71	0.01
Na_2O	0.01	0.01	0.29	0.62	3.06	2.89	1.50	3.46	2.56	
K_2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.17	6.65	0.02	0.00	
NiO	0.06	0.01	0.04	0.03	0.06	0.02	0.07	0.00	0.00	0.01
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.02	0.09	0.51
Total	100.06	100.27	99.97	100.22	97.72	97.36	94.79	100.47	100.13	99.23
(formula)										
Si	1.002	1.952	1.929	1.950	6.361	6.552	5.728	2.300	2.226	0.000
Ti	0.000	0.010	0.011	0.011	0.444	0.014	0.110	0.000	0.001	0.016
Al	0.001	0.066	0.103	0.098	1.780	2.121	2.793	1.701	1.772	0.792
Cr	0.000	0.013	0.031	0.029	0.113	0.003	0.036	0.000	0.000	1.136
Fe^{3+}										0.041
Fe^{2+}	0.343	0.261	0.132	0.097	0.635	0.603	0.637	0.001	0.001	0.771
Mn	0.005	0.007	0.004	0.004	0.012	0.014	0.000	0.000	0.001	0.012
Mg	1.645	1.635	0.994	0.880	3.637	3.929	4.626	0.000	0.001	0.220
Ca	0.001	0.054	0.777	0.884	1.798	1.720	0.006	0.694	0.769	0.000
Na	0.001	0.001	0.021	0.043	0.850	0.794	0.409	0.304	0.226	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.030	1.192	0.001	0.000	
Ni	0.001	0.000	0.001	0.001	0.006	0.002	0.008	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.001	0.003	0.013
Total	2.998	3.999	4.003	3.997	15.708	15.783	15.548	5.002	5.000	3.000
(ratio)										
X_{Mg}^*	0.827	0.862	0.883	0.900	1.639	1.448	0.879			0.213
X_{Mg}										0.222
An							69.5	77.2		0.290
Cr/(Al+Cr)										0.589

強い多色性を示し、 $\text{TiO}_2 = 2.4 \sim 4.7 \text{ wt\%}$ であるが、リムではZ軸色がごく薄く、 $\text{TiO}_2 = 0.1 \sim 0.4 \text{ wt\%}$ である。

金雲母($X_{\text{Mg}}^* = 0.86 \sim 0.90$)は、多くはかんらん石・直方輝石に接して3 mm程度以下の他形で産し、X=ほぼ無色、Y=Z=淡褐色の多色性を示す。リムほどZ軸色が薄い。金雲母の集合体が他の鉱物の粒間を埋めて産することもある。X=無色、Y=Z=淡青緑色の緑泥石($X_{\text{Mg}} = 0.72 \sim 0.93$)を周囲に伴うことが多い。

斜長石($An = 50 \sim 79\%$)は3 mm程度以下の自形～半自形で産する。アルバイト双晶、アルバイトーカールスバド双晶、ペリクリン双晶がみられる。最外縁部でAnが下がる正累帯

構造がみられる。かんらん石を包有する。

クロム鉄鉱は0.1 mm程度以下の自形～半自形粒状で産する。オープンニコルでは濃褐色を呈する。 $X_{\text{Mg}}^* = 0.19 \sim 0.36$, $X_{\text{Mg}} = 0.19 \sim 0.38$, $\text{Cr}/(\text{Al} + \text{Cr}) = 0.51 \sim 0.64$ である。殆どの場合、かんらん石のマントル～リムに包有されて産するが、直方輝石・単斜輝石・斜長石に包有されて産することもある。

磁鉄鉱は主に、かんらん石のクラックを埋める蛇紋石脈の中央部に、微細結晶の集合体として産する(Fig. 5a)。硫化鉱物周囲に産することもある(Fig. 5b)。チタン鉄鉱($X_{\text{Mg}}^* = 0.25 \sim 0.29$)は直方輝石や角閃石に接して0.2 mm程度以下の他形で産する。

硫化鉱物は、かんらん石の周囲に0.1 mm程度以下の他形粒状で産することが多いが、直方輝石中に産することもある。一粒子内に磁硫鉄鉱とペントランド鉱が共存して産することが多い(Fig. 5b)。磁硫鉄鉱内には単硫鉄鉱の離溶ラメラがみられる(Fig. 5b)。磁硫鉄鉱と黄銅鉱がラメラ状に産することもある。

かんらん石ノーライトの化学的特徴

1. 分析手法

全岩主成分・微量成分組成は山口大学機器分析施設に設置された蛍光X線分析装置(XRF) Rigaku ZSX Primus IIによって分析した。分析手法は深見・大和田(2017)に従った。 FeO の定量は山口大学理学部で過マンガン酸カリウム滴定法によりおこない、XRFによる全 Fe_2O_3 量と強熱減量法による質量増減から Fe_2O_3 、 FeO 、 $\text{H}_2\text{O}(+)$ 、 $\text{H}_2\text{O}(-)$ を求めた。

希土類元素などの分析には新潟大学の誘導結合プラズマ質量分析装置(ICPMS) Agilent 7500aを使用した。岩石粉末試料の溶解及び測定はTakanashi et al.(2011)と同様の方法を用いた。

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ の分析には新潟大学設置の表面電離型質量分析装置(TIMS) MAT262を用いた。分析手順はMiyazaki and Shuto(1998)に、測定に用いた岩石粉末試料の溶解およびSrとNdの抽出方法はKagami et al.(1987)に基づいた。試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 測定値はそれ

Fig. 5. (a) Photomicrograph of the olivine norite in plane polarized light (sample 140904-02B). (b) Backscattered electron image of a sulfide mineral in the olivine norite (Sample 170720-01A). Pentlandite is intimately intergrown with pyrrhotite. Pyrrhotite has exsolution lamellae of troilite.

Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns for the olivine norite. Normalizing values are from Sun and McDonough (1989).

それ $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ と $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ で規格化した. 本研究の期間中に測定した Sr 同位体の標準試料 NIST SRM 987 の測定値は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710237\pm0.000049$ (2σ , $n=18$), Nd 同位体の標準試料 JNdi-1 の測定値は $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512062\pm0.000039$ (2σ , $n=20$) である. 未知試料の同位体比組成は, Miyazaki and Shuto (1998) による標準試料の推奨値 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710251$ (NIST SRM 987) および $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512106$ (JNdi-1) で補正した.

2. 分析結果

分析結果は Table A1 に示した. 希土類元素組成は, CI コンドライトで規格化したスパイダー図では, 110612-03 は滑らかな負の傾斜を示し, OG-25 は全体としてこれよりもほぼ平行にやや上方にプロットされ, わずかに負の Eu 異常がみられる (Fig. 6). 日高変成帯の苦鉄質火成岩では, 北部のパンケヌシ斑れい岩やチロロ玄武岩などは MORB 的な組成を示し, Sr・Nd 同位体比も枯渇的な組成を示す (Maeda and Kagami, 1996; 前田・斉藤, 1997). また, 音調津地域で最も苦鉄質なかんらん石斑れい岩も N-MORB 的な特徴を示すことが報告されている (小島ほか, 2015). 一方, 本露頭のかんらん石ノーライトの Sr・Nd 同位体比は, より肥沃的な組成を示している (Table A1).

ま と め

日高変成帯南部, 黄金道路に露出するかんらん石ノーライトについて, 産状記載・岩石記載・化学分析をおこなった. この斑れい岩体は, 黒雲母花崗閃緑岩体中のシンプルトニック岩脈の可能性がある. モード組成からは olivine-melanorite~olivine-melagabbro 系に分類される. 希土類元素組成はコンドライトで規格化したスパイダー図で負の傾斜を示す. Sr・Nd 同位体比は, パンケヌシ斑れい岩などと比較すると, より肥沃的な組成を示す.

謝辞: 本研究は, 小松正幸氏のもとで行われた新潟大学卒業論文 (山根), 志村のもとで行われた新潟大学卒業論文 (大橋)・山口大学博士論文 (小島)・日本学術振興会外国人特別研究 (ケンブ) など得られた成果を基礎とし, 近年の再調査・再分析を加えてまとめたものである. 小松正幸氏, 小山内康人氏, 大和田正明氏, 今岡照喜氏, 高橋浩氏, 木崎健治氏には多くの助言をいただいた. 野外調査では十勝西部森林管理署, 帯広開発建設部, 広尾町教育委員会の皆様にお世話になった. 化学分析では新潟大学・山口大学の院生諸氏, 山口大学機器分析施設の森福洋二氏にご指導頂いた. イラストレーター用の地質図パターンズウォッチ素材は, イラレ屋の千葉健一氏に開発していただいた. 本稿は査読者の前田仁一郎氏と編集委員の岩森光氏の有益な助言により大幅に改善された. 本研究の一部に, JSPS 科研費 (20540443・15K05343 志村, 05F05721 ケンブ, 15H03748 大和田, 16K05585 高橋浩) を使用した. 記して感謝いたします.

文 献

Bamba, T., 1981, Nickeliferous pyrrhotite deposits and ores

- from the Oshirabetsu Mine, Tokachi Province, Hokkaido. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **19**, 415–438.
- 深見 潤・大和田正明 (Fukami, J. and Owada, M.), 2017, 福岡県, 三郡山東麓に分布する苦鉄質変成岩類の全岩化学組成 (Whole-rock geochemistry of metamorphosed mafic rocks from Mt. Sangun area, Fukuoka, Kyushu). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **123**, 1055–1060.
- 橋本誠二・武田裕幸 (Hashimoto, S. and Takeda, H.), 1960, 5 万分の 1 地質図幅「広尾」及び同説明書 (*Explanatory Text of the Geological Map of Japan Scale 1: 50,000, Biroo*), 北海道立地下資源調査所 (Geol. Surv. Hokkaido), 40.
- 舟橋三男・橋本誠二 (Hunahashi, M. and Hashimoto, S.), 1951, 日高帯の地質 (Geology of the Hidaka belt). *地団研専報 (Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan)*, **6**, 1–38.*
- 猪木幸男・秦 光男 (Igi, S. and Hata, M.), 1956, 5 万分の 1 地質図幅「猿留」及び同説明書 (*Explanatory Text of the Geological Map of Japan Scale 1: 50,000, Saruru*), 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 28p.
- Ishihara, S. and Terashima, S., 1985, Cenozoic granitoids of central Hokkaido, Japan – An example of plutonism along a collisional belt. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **36**, 653–680.
- Jahn, B. M., Usuki, M., Usuki, T. and Chung, S. L., 2014, Generation of Cenozoic granitoids in Hokkaido (Japan): Constraints from zircon geochronology, Sr-Nd-Hf isotopic and geochemical analyses, and implications for crustal growth. *Am. Jour. Sci.*, **314**, 704–750.
- Kagami, H., Iwata, M., Sano, S. and Honma, H., 1987, Sr and Nd isotopic compositions and Rb, Sr, Sm, and Nd concentrations of standard samples. *Tech. Rep. ISEI Okayama Univ.*, **52**, 51–70.
- 河野義礼・植田良夫 (Kawano, Y. and Ueda, Y.), 1967, 本邦火成岩の K-Ar dating (VI) – 花崗岩類, 総括 – (K-Ar dating on the igneous rocks in Japan (IV) – Granitic rocks, summary). *岩石鉱物鉱床学会誌 (Jour. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.)*, **57**, 177–187.
- Kemp, A. I. S. and Shimura, T., 2006, Ion microprobe U-Pb (zircon) geochronology of the Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido, Japan: New results and implications for granite generation at convergent margins. *19th Gen. Meet. Int. Mineral. Assoc., Abstr.*, 322.
- Kemp, A. I. S., Shimura, T., Hawkesworth, C. J. and EIMF, 2007, Linking granulites, silicic magmatism, and crustal growth in arcs: Ion microprobe (zircon) U-Pb ages from the Hidaka metamorphic belt, Japan. *Geology*, **35**, 807–810.
- 金 詰祐 (Kim, C. W.), 1966, 音調津含ニッケル磁鉄鉱鉱床形成に伴う斑縞岩類の岩相変化 (Facies variation of the gabbro accompanied with the Oshirabetsu nickeliferous pyrrhotite deposits). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **72**, 179–190.
- 小島 萌・Kemp, A. I. S.・大橋美由希・志村俊昭 (Kojima, M., Kemp, A. I. S., Ohashi, M. and Shimura, T.), 2015, 日高変成帯の形成テクトニクス (2): 二度の火成活動 (Evolution of the Hidaka Metamorphic Belt, part II: Dual magmatism). *日本地質学会第 122 年学術大会講演要旨 (122nd Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.)*, 65.
- 小島 萌・志村俊昭 (Kojima, M. and Shimura, T.), 2014, 日高変成帯, 札内川七ノ沢における I タイプ・S タイプトナリ岩マグマの起源: Sr・Nd 同位体比からの検討 (Origin of the I- and S-type tonalitic magma in the Satsunai-gawa Shichino-sawa river region of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **120**, 393–412.
- Komatsu, M., Miyashita, S., Maeda, J., Osanai, Y. and Toyoshima, T., 1983, Disclosing of a deepest section of continental-type crust up-thrust as the final event of collision arcs in Hokkaido, North Japan. In Hashimoto, M. and Uyeda, S., eds., *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*, TERRAPUB, Tokyo, 149–165.
- Komatsu, M., Shibakusa, H., Miyashita, S., Ishizuka, H., Osanai, Y. and Sakakibara, M., 1992, *Subduction and Collision*

- Related High and Low P/T Metamorphic Belts in Hokkaido. 29th IGC Field Trip C01*, 61p.
- Maeda, J., 1981, Ti- and Al-rich clinopyroxenes from the dolerite dike in the Meguro area of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **20**, 79–86.
- Maeda, J. and Kagami, H., 1996, Interaction of a spreading ridge and an accretionary prism: Implications from MORB magmatism in the Hidaka magmatic zone, Hokkaido, Japan. *Geology*, **24**, 31–34.
- 前田仁一郎・斎藤清克 (Maeda, J. and Saito, K.), 1997, 大陸地殻形成におけるマントル由来未分化マグマの役割: 日高火成活動帯の例 (Role of mantle-derived primitive magma for generation of continental crust: inferences from the Hidaka magmatic belt, central Hokkaido). 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), **47**, 75–85.
- Miyazaki, T. and Shuto, K., 1998, Sr and Nd isotope ratios of twelve GSJ rock reference samples. *Geochem. Jour.*, **32**, 345–350.
- 小山内康人・大和田正明・志村俊昭・在田一則・土屋範芳・前田仁一郎 (Osanai, Y., Owada, M., Shimura, T., Arita, K., Tsuchiya, N. and Maeda, J.), 1994, 日高変成帯の高温変成作用と火成作用 (High-temperature metamorphism and related magma genesis in the Hidaka metamorphic belt). 日本地質学会第101年学術大会見学旅行案内書 (*101st Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Excursion Guidebook*), 57–71.
- 小山内康人・大和田正明・志村俊昭・中野伸彦・川浪聖志・小松正幸 (Osanai, Y., Owada, M., Shimura, T., Nakano, N., Kawanami, S. and Komatsu, M.), 2006, 日高島弧 (日高変成帯主帯) 下部地殻における高度変成岩の部分溶融. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **112**, 623–638.
- Owada, M., Osanai, Y., Shimura, T. and Toyoshima, T., 2003, Crustal section and anatexis of lower crust due to mantle flux in the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *Geol. Surv. Japan, Interim Rep.*, **28**, 81–102.
- 佐伯圭右・柴正敏・板谷徹丸・大貫仁 (Saeki, K., Shiba, M., Itaya, T. and Onuki, H.), 1995, 北海道, 日高帯南部における変成岩および深成岩の K-Ar 年代とその意味 (K-Ar ages of the metamorphic and plutonic rocks in the southern part of the Hidaka belt, Hokkaido and their implications). 岩鉱 (*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **90**, 297–309.
- Shiba, M., 1988, Metamorphic evolution of the southern part of the Hidaka belt, Hokkaido, Japan. *Jour. Metamorph. Geol.*, **6**, 273–296.
- 柴正敏・菅野孝明 (Shiba, M. and Kanno, T.), 1995, 日高変成帯南東部, 中の川層群の変成帯 (Metamorphic zoning of the Nakanogawa group in the southeastern part of the Hidaka metamorphic belt). *Sci. Rep. Hirosaki Univ.*, **42**, 107–114.
- 志村俊昭・小島 萌 (Shimura, T. and Kojima, M.), 2015, エクセル VBA によるポイントカウント・アプリケーション (Point count application by MS-Excel VBA). 情報地質 (*Geoinformatics*), **26**, 15–20.
- 志村俊昭・小島 萌・Kemp, A. I. S. (Shimura, T., Kojima, M. and Kemp, A. I. S.), 2015, 日高変成帯の形成テクトニクス (I): 二度の変成作用と地殻の二重構造 (Evolution of the Hidaka Metamorphic Belt, part I: Dual metamorphism and duplicate crust). 日本地質学会第122年学術大会講演要旨 (*122nd Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 64.
- Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, **12**, 1–33.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D. and Norry, M. J., eds., *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. London. Spec. Publ., **42**, 313–345.
- 鈴木 守・在田一則・新井田清信 (Suzuki, M., Arita, K. and Niida, K.), 1974, 三石-えりも岬-広尾地質案内 (*Geological Excursion Guidebook of Mitsuishi-Cape Erimo-Hiroo*), 日本地質学会北海道支部 (Hokkaido Branch, Geol. Soc. Japan), 31p.*
- Takahashi, T., 1983, The Oshirabetsu gabbroic mass in the southeastern part of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **20**, 203–224.
- Takanashi, K., Shuto, K. and Sato, M., 2011, Origin of Late Paleogene to Neogene basalts and associated coeval felsic volcanic rocks in Southwest Hokkaido, northern NE Japan arc: Constraints from Sr and Nd isotopes and major- and trace-element chemistry. *Lithos*, **125**, 368–392.
- 高橋 浩・志村俊昭・加藤聡美 (Takahashi, Y., Shimura, T. and Kato, S.), 2018, 日高変成帯南部の深成変成岩類 (Plutonic and metamorphic rocks in southern Hidaka metamorphic belt, Hokkaido). 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **124**, 399–411.
- 土屋範芳・鈴木舜一・千田 佑 (Tsuchiya, N., Suzuki, S. and Chida, T.), 1991, 音調津斑れい岩体中のグラファイトの成因 (Origin of graphite in the Oshirabetsu gabbroic body, Hokkaido Japan). 岩鉱 (*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **86**, 264–272.
- Usuki, T., Kaiden, H., Misawa, K. and Shiraishi, K., 2006, Sensitive high-resolution ion microprobe U-Pb ages of the Latest Oligocene-Early Miocene rift-related Hidaka high-temperature metamorphism in Hokkaido, northern Japan. *Isl. Arc*, **15**, 503–516.
- Whitney, D. L. and Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.*, **95**, 185–187.

* English translation from the original written in Japanese

以下の Table は、オープンファイルとして学会ホームページ上で公開しています。 <<http://www.geosociety.jp/publication/content0006.html>>

Table A1. Whole rock chemical compositions and, Sr and Nd isotope ratios of the olivine norite.

(著者プロフィール)

志村俊昭 山口大学大学院創成科学研究科教授。新潟大学理学部准教授などを経て、14年から現職。本研究の全般を担当。

小島 萌 サンコーコンサルタント(株)。新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程・山口大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。本研究では主に野外調査と化学分析を担当。

大橋美由希 株式会社たまのや。新潟大学理学部地質科学科卒。本研究では主に野外調査・岩石記載・化学分析を担当。

山根幹生 有限会社テレリサーチ。新潟大学理学部地質鉱物科学科卒。本研究では主に野外調査と岩石記載を担当。

Kemp, A. I. S. 西オーストラリア大学地球科学教室教授。日本学術振興会外国人特別研究員として05~06年に新潟大学に在籍。本研究では主に野外調査と年代論を担当。

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得が必要であることに注意下さい。詳しくは、以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会