報 告

鳥取県淀江の珪長質片麻岩中の亜鉛に乏しい鉄スピネル

Zn-poor hercynite in felsic gneiss from the Yodoe area, Tottori Prefecture, Japan

遠藤俊祐* 森 創太郎*

Shunsuke Endo* and Sotaro Mori*

2021年11月6日受付.

2021年12月2日受理.

* 島根大学総合理工学部地球科学科

Department of Earth Science, Interdisciplinary Faculty of
Science and Engineering, Shimane University, Matsue 690-
8504, Japan

Corresponding author: S. Endo,
s-endo@riko.shimane-u.ac.jp

Abstract: Gneissose rocks exposed at the Yodoe area, northwestern flank of Mt. Daisen, Tottori Prefecture have been considered as western extension of the Hida metamorphic rocks in the Hida Mountains. We describe a new occurrence of hercynite $[(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn}, \text{Mn}) (\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2 \text{O}_4]$ in garnet-bearing felsic gneiss from the Yodoe area. Green hercynite occurs exclusively as inclusions in garnet, and is not in direct contact with quartz. The $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Zn} + \text{Mn})$ and $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ values of the hercynite are 0.84–0.85 and 0.91–0.92, respectively. The hercynite is characterized by low ZnO content (2.21–2.41 wt%).

Keywords: gneiss, hercynite, Hida metamorphic rocks, Tottori

はじめに

大山火山の北西麓に位置する鳥取県淀江町稲吉(以下、淀江地域)には、片麻岩類が小規模に露出する(岡田・山内, 2010). 堤ほか(2018)は、淀江地域の片麻岩類から三疊紀火成作用を示すジルコン U-Pb 年代を報告し、飛騨山地に分布する古期飛騨花崗岩類(変花崗岩類)に対比した. 石賀ほか(1989)は大山西麓から飛騨変成岩に対比されると考えられる岩石を記載した. それらのなかで^{ほうき}伯耆町大内のざくろ石を含む泥質変成岩は、碎屑性ジルコン年代から原岩がジュラ紀付加堆積物起源である可能性が示唆され(Tsutsumi et al., 2017), 帰属が確定していない. また、伯耆町溝口から江府町江尾にかけて分布する江尾花崗岩は前期ジュラ紀の火成年代を示し(石原ほか, 2012), 新期飛騨花崗岩類(船津花崗岩類)と同時期であるが、その被貫入岩の地質は明らかにされていない.

大山の北方約 100 km に位置する島根県隠岐島後には隠岐変成岩が分布する. 近年、隠岐変成岩は古生代の大陸基盤を起源とすることが明確となり、古生代の堆積物や三疊紀

以前の深成岩類を原岩とする飛騨変成岩とは区別されるようになった(Tsutsumi et al., 2006; Takahashi et al., 2018; Cho et al., 2021; Kawabata et al., 2021). 前述のように大山周辺の基盤岩類の地質学的位置づけには未解決問題が残るものの、淀江地域の片麻岩類は山陰地方に飛騨変成岩が延長することを確実に示すため重要である. しかし、淀江地域の片麻岩類は顕著な熱水変質作用を受けており、露頭の風化も激しく新鮮な試料は得られないため、変成作用に関する検討は行われていない. 今回、一試料ではあるが、淀江地域からざくろ石および鉄スピネルを含む珪長質片麻岩を見出した. 二次的な変質が顕著な試料であっても、ざくろ石やその包有物は広域変成作用時の情報を保持していることが期待される. また、一般的に Zn を含む鉄スピネルは角閃岩相〜グラニュイト相の泥質変成岩に普遍的な鉱物であり、特に Zn に乏しい鉄スピネルと石英の共存はグラニュイト相を指標する(Shulters and Bohlen, 1989; Nichols et al., 1992; Waters, 1991; 別府ほか, 2002). スピネルを含む鉱物共生や固溶体組成は地殻内変成作用に関する重要な情報であるため、淀江地域の鉄スピネルを含む珪長質片麻岩の記載岩石学的データを報告する.

地 質 概 要

鳥取県西部に位置する大山は主としてデイサイトからなる第四紀成層火山であり、その活動史から古期噴出物と新期噴出物に大きく分けられる(津久井, 1984). 淀江地域には、大山およびその側火山である^{こうれいさん}孝霊山、鍋山などの火山噴出物が広く分布する. 岡田・山内(2010)は、古期噴出物である孝霊山溶岩ドームの西縁に沿って基盤の片麻岩類が露出することを明らかにした(Fig. 1). ボーリング柱状図の検討から淀江平野の地下には古第三紀花崗岩類の基盤を不整合に覆う中新統が存在し、片麻岩類を基盤とする孝霊山西麓とは大きく異なるため、両者の間におおよそ南北走向の伏在断層が推定される(岡田・山内, 2010).

淀江地域の片麻岩類は岩相および年代により飛騨変成岩に対比される(岡田・山内, 2010; 堤ほか, 2018). 主な岩相として、片麻状角閃石花崗閃緑岩、珪長質片麻岩、苦鉄質片麻岩(角閃岩)がみられる. 珪長質片麻岩の原岩は、花崗岩類と砂泥質岩のどちらであるかを明確に判定できない場合が多い. 珪長質片麻岩の大部分は、長石類および黒雲母の粘土鉱物への変質により白色軟弱岩に変化している. また、熱水変質作用に伴い片麻岩類に硫化鉱物を生じており、採掘坑が残されている. 本報告の試料はこの採掘坑の廃石から採取した.

Fig. 1. Geological map of northwestern flank of Daisen volcano, Tottori Prefecture (modified after Tsukui, 1984). Gneissose rocks in the Yodoe area are exposed along the western margin of the Koreisan lava dome (Okada and Yamauchi, 2010). White star shows the sample locality.

岩石記載

本報告で記載する試料は、白色化した珪長質片麻岩である。以下の記載は、偏光顕微鏡下での観察に加え、微細な鉱物は反射電子像の観察と EDS 分析により同定した。石英と

斜長石を主要構成鉱物とし、石英リボンとレンズ状斜長石により定義される縞状の面構造と伸長線構造が発達する (Fig. 2a)。石英は波動消光を示し、伸長した粗粒結晶がリボンを形成している。斜長石は著しく伸長した翼(歪みシャドウ)をもつレンズ状の形状を示し、レンズのコアに残存する 2 mm 以下の粗粒結晶を除くと細粒(平均粒径 130 μm)の多角形粒子に再結晶している (Fig. 2a)。斜長石は変質して結晶内に緑れん石と微細な白雲母を生じており、顕微鏡下では結晶全体が汚濁している。基質鉱物として少量のカリ長石と白雲母も存在する。カリ長石の大部分はカオリナイトと緑れん石に置換され、白雲母は劈開に沿って Ti 鉱物が存在する。Ti 鉱物の粒子は中心部がルチルで、その周囲を 10 μm 以下のチタン鉄鉱が取り囲んでいる。また、岩石全体に直径 1 mm 以下の立方体の黄鉄鉱(水酸化鉄に変質)が含まれる。微量鉱物(モールド量で 1% 未満)として、ざくろ石、アパタイト、モナザイト、ジルコン、ゼノタイムが含まれる。ざくろ石は直径 0.3 mm 以下の半自形～他形の結晶をなし、部分的に白雲母と緑れん石に置換されている (Fig. 2b)。ざくろ石中のクラックを伴わない包有物として、石英、ジルコン、アパタイト、石墨、スピネルが確認された。スピネルは顕微鏡下では暗緑色で、ざくろ石以外の鉱物とは接していない。モナザイトは長さ 100 μm 以下の結晶をなし、縁部をゼノタイムに置換された不規則形状を示す。ゼノタイムは 10 μm 以下の独立粒子としても存在する。ジルコンは長さ 100 μm 前後の柱状の自形粒子のほか、20 μm 以下の粒子が多数含まれる。

鉱物化学組成

島根大学地球科学科の電子線マイクロアナライザ(日本電子製 JXA-8530F)を用いて鉱物化学分析を行った。WDS による定量分析は、加速電圧 15 kV、試料電流 25 nA(長石、雲母は 15 nA)、ビーム径 1–4 μm の条件で行った。測

Fig. 2. Microstructure of felsic gneiss from the Yodoe area. (a) Alternating layers of recrystallized plagioclase and quartz ribbons. XZ section (crossed polarized light). (b) A hercynite inclusion in garnet (backscattered electron image). Abbreviations: Ep (epidote), Grt (garnet), Hc (hercynite), Ilm (ilmenite), Ms (muscovite), Pl (plagioclase), Qz (quartz), Rt (rutile) and Zrn (zircon).

Table 1. Representative electron microprobe analyses of minerals in felsic gneiss from the Yodoe area.

Mineral	Grt	Grt	Hc	Hc
	core	rim	incl.	incl.
SiO ₂ wt%	36.54	36.07	0.09	0.07
TiO ₂	0.00	0.00	0.02	0.00
Al ₂ O ₃	20.40	20.41	51.41	51.86
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	28.32	25.69	41.11	40.75
MnO	11.01	15.14	1.57	1.52
MgO	0.90	0.63	1.43	1.49
CaO	2.19	1.93	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	n.a.	n.a.
K ₂ O	0.00	0.00	n.a.	n.a.
ZnO	n.a.	n.a.	2.21	2.41
Total	99.36	99.87	97.84	98.10
O =	12	12	4	4
Si apfu	3.007	2.974	0.003	0.002
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.978	1.983	1.815	1.823
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺			0.179	0.172
Fe ²⁺	1.949	1.772	0.851	0.844
Mn	0.767	1.057	0.040	0.038
Mg	0.110	0.077	0.064	0.066
Ca	0.193	0.170	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	n.a.	n.a.
K	0.000	0.000	n.a.	n.a.
Zn	n.a.	n.a.	0.049	0.053
Sum	8.004	8.034	3.000	3.000

*Total Fe as FeO. n.a.: not analyzed.

定結果を Table 1 に示す。固溶体の端成分の略号は Whitney and Evans (2010) に従った。

斜長石はすべてアルバイト化しており $\text{Ab}_{95-98}\text{An}_{1-3}\text{Or}_{1-3}$ の組成範囲を示す。基質の白雲母はフェンジャイト質 ($\text{Si} = 3.20\text{--}3.30$ apfu) で、白雲母中のチタン鉄鉱は 11.2 wt% に達する ZnO を含む。

ざくろ石は、逆累帯構造を示す縁部を除き均質な化学組成を示す。均質な中心部の固溶体組成は $\text{Alm}_{64-65}\text{Sps}_{25-26}\text{Grs}_7\text{Prp}_4$ である。最外縁 ($\text{Alm}_{58}\text{Sps}_{34}\text{Grs}_6\text{Prp}_3$) に向かって

Fig. 3. Hercynite compositions in felsic gneiss from the Yodoe area. Hercynite-gahnite compositions in pelitic gneiss and migmatite from low-pressure metamorphic terranes in the literature (Suzuki and Osakabe, 1982; Seo et al., 1984; Beppu et al., 2002) and our unpublished data are also plotted.

連続的に Mn が増加、 Fe^{2+} 、Ca、Mg が減少する。飛騨山地の泥質片麻岩中のざくろ石 (Suzuki and Osakabe, 1982; 山本, 1983) と比べると、著しく Mn に富み、Mg に乏しい。

スピネルはざくろ石の中心部に包有される (Fig. 2b)。スピネルの $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比は $O = 4$ 、陽イオンの合計を 3 とし計算した。 $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Zn} + \text{Mn}) = 0.84\text{--}0.85$ 、 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe}^{3+}) = 0.91\text{--}0.92$ 、 $\text{ZnO} = 2.21\text{--}2.41$ wt%、 $\text{MnO} = 1.47\text{--}1.59$ wt% の組成範囲を示し、Zn に乏しい鉄スピネルである (Fig. 3)。この鉄スピネルを $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4\text{--MgAl}_2\text{O}_4\text{--ZnAl}_2\text{O}_4\text{--MnAl}_2\text{O}_4$ の四成分固溶体とみなすと、固溶体組成は $\text{Hc}_{84-85}\text{Spl}_{6-7}\text{Ghn}_5\text{Glx}_4$ と表される。

Fig. 3 には、西南日本の低圧型広域変成帯の泥質片麻岩ないしミグマタイトから報告されているスピネルの化学組成も示した。プロットした分析値は、飛騨変成岩 (Suzuki and Osakabe, 1982)、領家変成岩 (瀬尾ほか, 1984; 別府ほか, 2002)、隠岐変成岩 (Suzuki and Osakabe, 1982) である。隠岐変成岩のスピネルに関して、Suzuki and Osakabe

(1982)の分析値は一点であるため、新たに泥質片麻岩(隠岐島後の大久, 銚子, 東郷で採取した三試料)に含まれるスピネルを分析し, Fig. 3 のデータに加えた。これら他地域の角閃岩相~グラニュイト相の泥質変成岩の鉱物化学組成と比較すると, 淀江地域の鉄スピネルとざくろ石はともに Fe^{2+} と Mn に富み, Mg に乏しい特徴をもつ。

ま と め

鳥取県淀江地域の珪長質片麻岩から, ざくろ石中の包有物として Zn に乏しい鉄スピネルを見出した。石英はざくろ石の包有物や基質の主要構成鉱物として存在するが, 鉄スピネルは石英と接していない。淀江地域の片麻岩類がグラニュイト相に達する高度変成作用を受けているかどうかは今後の検討課題である。

謝 辞

本稿の査読者の宮崎一博氏, 編集担当の岡本 敦氏に御礼申し上げます。

文 献

- 別府正顕・古川 登・廣井美邦, 2002, 泥質片麻岩におけるスピネル生成部分融解反応: 記載岩石学および合成実験的アプローチ. 岩石鉱物科学, 31, 97–110. [Beppu, M., Furukawa, N. and Hiroi, Y., 2002, Spinel-producing partial melting reaction in pelitic gneiss: petrographical and synthetic experimental approach. *Japan. Mag. Mineral. Petrol. Sci.*, 31, 97–110.]
- Cho, D. L., Takahashi, Y., Kim, S. W., Yi, K. and Lee, B. C., 2021, Zircon U-Pb-Hf and geochemical analyses of paragneiss and granitic gneiss from Oki-Dogo Island, Southwest Japan and its tectonic implications. *Lithos*, 396–397, 106217., doi: 10.1016/j.lithos.2021.106217.
- 石賀裕明・鈴木盛久・飯泉 滋・西村貢一・加々美寛雄・田中 忍, 1989, 飛騨帯の西方延長: とくに鳥取県大山西方溝口町で発見された片麻岩類と圧砕岩類について. 地質雑, 95, 129–132. [Ishiga, H., Suzuki, M., Izumi, S., Nishimura, K., Kagami, H. and Tanaka, S., 1989, Western extension of Hida terrane: with special reference to gneisses and mylonites discovered in Mizoguchi-cho, western part of Daisenm Tottori Prefecture, Southwest Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 95, 129–132.]
- 石原舜三・平野英雄・谷 健一郎, 2012, 山陰地方中部における飛騨と三郡変成岩類に貫入するジュラ紀花崗岩類. 地質調査研究報告, 63, 227–231. [Ishihara, S., Hirano, H. and Tani, K., 2012, Jurassic granitoids intruding into the Hida and Sangun metamorphic rocks in the central Sanin District, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 63, 227–231.]
- Kawabata, R., Imayama, T., Kato, T., Oh, C. W., Horie, K. and Takehara, M., 2021, Multi-stage metamorphic history of the Oki gneisses in Japan: Implications for Paleoproterozoic metamorphism and tectonic correlations in northeastern Asia. *J. Metamorph. Geol.*, doi: 10.1111/jmg.12627.
- Nichols, G. T., Berry, R. F. and Green, D. H., 1992, Internally consistent gahnitic spinel-cordierite-garnet equilibria in the FMASHZn system: geothermobarometry and applications. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 111, 326–377.
- 岡田龍平・山内靖喜, 2010, 大山北西麓淀江付近の地質. 島根県地学会誌, 25, 11–15. [Okada, R. and Yamauchi, S., 2010, Geology of the Yodoe area, northwestern flank of Mt. Daisen. *J. Shimane Geogr. Soc.*, 25, 11–15.]*
- 瀬尾孝文・横山俊治・鈴木盛久, 1984, 瀬戸内地方領家帯に産する含亜鉛鉄スピネル. 岩石鉱物鉱床学会誌, 79, 498–502. [Seo, T., Yokoyama, S. and Suzuki, M., 1984, Zincian hercynite from the Ryoke Zone in the Seto Inland Sea area. *J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, 79, 498–502.]
- Shulters, J. C. and Bohlen, S. R., 1989, The stability of hercynite and hercynite-gahnite spinels in corundum- or quartz-bearing assemblages. *J. Petrol.*, 30, 1017–1031.
- Suzuki, M. and Osakabe, T., 1982, On the zincian spinel of the Hida metamorphic belt, central Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, 21, 37–49.
- Takahashi, Y., Cho, D. L., Mao, J., Zhao, X. and Yi, K., 2018, SHRIMP U-Pb zircon ages of the Hida metamorphic and plutonic rocks, Japan: Implications for late Paleozoic to Mesozoic tectonics around the Korean Peninsula. *Isl. Arc*, 27, e12220, doi: 10.1111/iar.12220.
- 津久井雅志, 1984, 大山火山の地質. 地質雑, 90, 643–658. [Tsukui, M., 1984, Geology of Daisen Volcano. *J. Geol. Soc. Japan*, 90, 643–658.]
- 堤 之恭・磯崎行雄・木谷啓二・寺林 優, 2018, 鳥取県西部, 大山麓のトリアス期花崗岩と飛騨帯の延長. 日本地質学会第 125 年学術大会講演要旨, 48. [Tsutsumi, Y., Isozaki, Y., Kitani, K. and Terabayashi, M., 2018, Western extension of the Hida belt: Triassic granitoids in northwestern foothills of Mt. Daisen, western Tottori, Japan. *125th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*, 48.]
- Tsutsumi, Y., Isozaki, Y. and Terabayashi, M., 2017, The most continent-sided occurrence of the Phanerozoic subduction-related orogens in SW Japan: Zircon U-Pb dating of the Mizoguchi gneiss on the western foothill of Mt. Daisen volcano in Tottori. *J. Asian Earth Sci.*, 145, 530–541.
- Tsutsumi, Y., Yokoyama, K., Horie, K., Terada, K. and Hidaka, H., 2006, SHRIMP U-Pb dating of detrital zircons in paragneiss from Oki-Dogo Island, western Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 101, 289–298.
- 山本芳樹, 1983, 富山県南東部和田川地域の泥質片麻岩中の逆累帯ざくろ石. 岩石鉱物鉱床学会誌, 78, 313–323. [Yamamoto, Y., 1983, Reverse zoned garnets from pelitic gneisses in the Wada-gawa area, southeastern part of Toyama Prefecture, central Japan. *J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, 78, 313–323.]
- Waters, D. J., 1991, Hercynite-quartz granulites: phase relations, and implications for crustal processes. *Eur. J. Mineral.*, 3, 367–386.
- 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

(著者プロフィール)

遠藤俊祐 島根大学環境システム科学系准教授. 本研究では野外調査・岩石記載・原稿執筆を担当。

森 創太郎 20 年 島根大学地球科学科卒業. 本研究では野外調査・岩石記載を担当。