広島県北西部，舞鶴帯吉和石英閃緑岩体の Rb-Sr 及び Sm-Nd アイソクロン年代

Rb-Sr and Sm-Nd isochron ages of the Yoshiwa Quartz Diorite in the
Maizuru Belt, northwestern part of Hiroshima Prefecture, SW Japan

石 岡 純 (Jun ISHIOKA)*
飯 泉 滋 (Shigeru IIZUMI)**

Rb-Sr whole rock isochron and Sm-Nd whole rock-mineral isochron ages were determined for the Yoshiwa quartz diorite in the Maizuru belt, northwestern part of Hiroshima Prefecture. The Yoshiwa quartz diorite intrudes Triassic to Jurassic Kuga Group. Eight whole rock samples give a Rb-Sr isochron age of 161.6 ± 15.2 Ma with an initial Sr isotope ratio of 0.70624 ± 0.00010 . Whole rock, felsic fraction and hornblende show an internal Sm-Nd isochron age of 169.8 ± 13.9 Ma with an initial Nd isotope ratio of 0.512371 ± 0.000012 . These middle to late Jurassic ages are comparable with previously reported ages for gabbro-diabase and granitic rocks from the northern zone of the Maizuru Belt in the Maizuru-Ooe district, Kyoto prefecture.

Keywords: Geochronology, Rb-Sr isochron, Sm-Nd isochron, Yoshiwa quartz diorite, Northern Yakuno rocks, Jurassic, Maizuru Belt

I. はじめに

舞鶴帯はその構成岩類や地質構造に基づき南帯，中帯，北帯に区分される（加納ら，1959）。石渡（1978）は，舞鶴帯南帯に分布する夜久野岩類がオフィオライトの構成メンバーを有することを見出し，それらがオフィオライト複合岩体を形成していることを明らかにした。夜久野オフィオライト下部の変成度はグラニュライト相にまで達し，夜久野オフィオライトは異常に厚い海洋地殻からなることが指摘されている（Ishiwatari, 1985）。

夜久野オフィオライトのうち，京都府綾部～福井県高浜地域の変斑れい岩はホルンブレンドの K-Ar 年代で 240-280 Ma (Shibata *et al.*, 1977)，同地域の変斑れい岩，超塩基性岩，斜長花崗岩は全岩および単斜輝石を用いた全岩—鉱物 Sm-Nd 法で 409-429 Ma (佐

野，1992)の年代が報告されている。Sm-Nd 法による年代値は K-Ar 法による鉱物年代と比較して明らかに古く，佐野（1992）は K-Ar 法による年代値がペルム紀～トリアス紀変成作用時の系の閉止した年代を表していると解釈している。これに対し，Herzig *et al.* (1997) は京都府朝来地域の斜長花崗岩に対して U-Pb ジルコン年代で 282-285 Ma を報告し，佐野（1992）による変斑れい岩，超塩基性岩，斜長花崗岩の Sm-Nd アイソクロンがミキシングラインである可能性を指摘している。

一方，舞鶴帯北帯の夜久野岩類はトーナライトや花崗閃緑岩などを多量に伴い，オフィオライトとは岩石構成が異なることが指摘されている（例えば，加納ら，1959；早坂，1987）。舞鶴帯北帯の夜久野岩類は，南帯に分布する‘夜久野オフィオライト’とは岩石学的性質が異なり，島弧の特徴を示すことが報告されている（早

（平成 10 年 11 月 6 日受付，平成 11 年 2 月 15 日受理）

* 新潟大学大学院自然科学研究科，〒 950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050

** 島根大学総合理工学部地球資源環境学科，〒 690-8504 松江市西川津町 1060

* Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8050 Nino-cho, Ikarashi, Niigata 950-2181, Japan

** Department of Geoscience, Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504, Japan

Fig. 1. Geotectonic subdivision of Chugoku district (modified from Hayasaka, 1987).
Solid square and solid star show this study area and the study area of Ikeda and Hayasaka (1994), respectively.
H, Hiroshima; MT, Matsue; MZ, Maizuru; O, Okayama.

坂, 1987)。最近, 池田・早坂 (1994) は京都府舞鶴市西部～大江町東部地域にかけて分布する舞鶴帯北帯の夜久野岩類について地質学的・岩石学および同位体年代学的な検討を加え, 夜久野岩類は舞鶴帯の南帯と北帯とは火成活動史に違いがあることを示した。すなわち, 同地域の舞鶴帯北帯夜久野岩類のうち, 斑れい岩・輝緑岩と花崗岩類は, 斑れい岩・輝緑岩体がジュラ紀中～後期の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代 (163 Ma) を, 花崗岩類の Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代が石炭紀～ペルム紀 (286～308 Ma) とジュラ紀中～後期 (142～164 Ma) に二分されることを明らかにした。

舞鶴帯は中国地方では構造帯としての性格が不明確になるが, 舞鶴層群相当層や夜久野岩類の存在から, その分布は広島県西部まで追跡されている (長谷, 1964; 長谷ら, 1975; 長谷・西村, 1979; 早坂, 1987) (Fig. 1)。本調査地域の広島県北西部吉和地域には, 舞鶴層群に対比される古生層が分布し, その古生層は舞鶴帯の西方延長帯とみなされている (長谷, 1964; 長谷・西村, 1979)。

今回, 本調査地域に分布する小岩体 (吉和石英閃緑

岩体, 新称) (Fig. 2) について地質学および Rb-Sr 法, Sm-Nd 法による年代学的検討をおこなったので, その結果について報告する。

II. 地質概要と岩石記載

広島市の北西約 40 km に位置する広島県佐伯郡吉和地域には舞鶴層群に対比される二疊紀緑色岩類が分布し (長谷, 1964; 長谷・西村, 1979), 舞鶴帯の西縁部にあたる (Fig. 1)。吉和石英閃緑岩体は広島県佐伯郡吉和村駄荷～立岩山付近にかけて幅 1 km 以下の規模で分布し, NE-SW 方向に伸長したいくつかの小岩体からなる (Fig. 2)。吉和石英閃緑岩体は三疊系～ジュラ系玖珂層群 (非変成～弱変成堆積岩類) 中に高角度で貫入している (Fig. 2)。吉和石英閃緑岩体の西方では, 二疊紀緑色岩類が玖珂層群の下位を占めている (長谷・西村, 1979; Toyohara, 1977)。吉和石英閃緑岩体と花崗斑岩体との接触境界付近は露頭状態が悪く, 両者の接触関係は直接的には観察できないが, 吉和岩体の南東側は両者の分布関係から白亜紀の花崗斑岩により貫入されていると判断される (Fig. 2)。

吉和石英閃緑岩体の主岩相は暗緑色を呈する塊状の

Fig. 2. Geological map of the Yoshiwa area.
1, Granite Porphyry; 2, Yoshiwa quartz diorite; 3, Triassic-Jurassic accretionary complex (Kuga group equivalent)
D, Dani; R, Lake Ryujin; Y, Yoshiwa.

中粒等粒状石英閃緑岩～トナライトで、まれに粗粒斑れい岩相を伴う (Fig. 3)。主岩相の主要構成鉱物は斜長石 (長径 1~4 mm, 自形～半自形, 長柱状), 緑色ホルンブレンド (長径 0.5~2 mm, 自形～半自形), 石英 (粒径 0.2~1.5 mm, 他形), および少量の黒雲母 (長径 0.5~2 mm, 半自形～他形), 単斜輝石 (長径 0.5~1.5 mm, 自形), 斜方輝石 (長径 0.5~1 mm, 自形) である。副成分鉱物は Fe-Ti 酸化物, アパタイト, ジルコン, 褐簾石とチタナイトである。色指数は 20~30 である。斜長石は体積比で 50~70% と比較的高い。石英は間隙充填鉱物として産する。輝石やホルンブレンドはその周縁部がしばしばアクチノ閃石に置換されている。黒雲母は緑泥石化している場合が多い。斜長石は一部ソーシユライト化している。

一方, 粗粒斑れい岩相は粒度が 5~10 mm に達し, 等粒状組織を示し, その主要構成鉱物は斜長石 (長径 3~10 mm, 自形～半自形), ホルンブレンド (長径 1~3 mm, 半自形～他形) と単斜輝石 (長径 1~3 mm, 自形～半自形) である。輝石は変質が著しくその周縁部はアクチノ閃石に置換されている場合が多い。副成分鉱

Fig. 3. Modal composition of the Yoshiwa quartz diorite.
Qz, Quartz; Kf, K-feldspar; Pl, Plagioclase; 1, tonalite; 2, quartz diorite; 3, diorite. (classification from IUGS)

物は Fe-Ti 酸化物, アパタイト, ジルコンである。色指数は 20 前後である。斜長石は体積比で 70~80% を占める。主岩相と比較して, ホルンブレンドのアクチノライト化が顕著である。

III. 分析方法

吉和石英閃緑岩体から採集した試料のうち, ホルンブレンドのアクチノライト化が弱いもの 8 試料を選択し, これらの試料について Sr 同位体比を測定した。さらに吉和石英閃緑岩体の 1 試料 (No. 108) について, アイソダイナミックセパレーターとハンドピッキングを用いてホルンブレンドとフェルシックフラクションを岩石から分離精製し, Nd 同位体比を測定した。試料の採集地点は Fig. 2 に示す。岩石粉末試料の分解および Rb, Sr, Sm と Nd の抽出方法は Kagami *et al.* (1987, 1989) に従った。Sr の同位体比測定は飯泉 (1996) の方法により, 島根大学総合理工学部のフィニガンマット社製の MAT262 表面電離型質量分析計を用いておこなった。また Sm, Nd の定量および Nd 同位体比の測定については新潟大学理学部設置の MAT262 を用い, Miyazaki and Shuto (1998) の方法に従った。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比および $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比はそれぞれ $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$, $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ で規格化した。測定期間中における標準試料 NBS987 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の平均値は 0.710257 ± 0.000009 (2σ mean, $N=5$),

JNdi-1 の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比の平均値は 0.512100 ± 0.000009 (2σ mean, $N=3$) であった。全岩の Rb, Sr の定量は島根大学総合理工学部の蛍光 X 線分析装置 (リガク製 RIX2000) を使用し、分析方法は沢田ら (1997) に従った。Sm, Nd の定量は ^{149}Sm - ^{150}Nd ミックススパイクを用いた同位体希釈法によりおこなった。地質調査所標準試料 JB-1a の定量値は $\text{Sm}=5.094 \pm 0.027$ ppm (standard deviation, $N=5$), $\text{Nd}=26.34 \pm 0.15$ ppm ($N=5$) であった。Rb, Sr, Sm および Nd の抽出におけるブランクは Rb が 0.60 ng, Sr が 0.55 ng, Sm が 0.025 ng, Nd が 0.220 ng であった。 ^{87}Rb と ^{147}Sm の壊変定数にはそれぞれ $1.42 \times 10^{-11}/\text{y}$ (Steiger and Jäger, 1977), $6.54 \times 10^{-12}/\text{y}$ (Lugmair and Marti, 1978) を用いた。年代および同位体初生値の計算方法は York (1966) に従い、川野 (1994) のパーソナルコンピュータプログラムを用いておこなった。年代の誤差は 2σ で示した。その際、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ および $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の誤差はそれぞれ 3%, 0.015% (1σ) とし、 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ および $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ の誤差はそれぞれ 0.1%, 0.015% (1σ) とした。

IV. 結 果

Rb, Sr, Sm と Nd 濃度および Sr, Nd 同位体比の測定結果を Table 1 に示す。吉和石英閃緑岩体の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代は 161.6 ± 15.2 Ma, Sr 同位体初生値 (SrI) は 0.70624 ± 0.00010 である (Fig. 4-a)。また吉和石英閃緑岩体の 1 試料 (No. 108) について、全岩、ホルンブレンド、フェルシックフラクションを用いて、Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロンとして 169.8 ± 13.9 Ma の年代、 0.512371 ± 0.000012 の Nd 同位体初生値 (NdI) が得られた (Fig. 4-b)。

V. 考 察

吉和石英閃緑岩体の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が、その固結年代を示すかどうかを検討するため、同石英閃緑岩体の Sr 同位体測定に用いた一試料から Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代を求めた。Rb-Sr 系および Sm-Nd 系の鉱物年代は、その系における任意の鉱物の閉止温度を通過したときの年代を示すと考えられる。Sm-Nd 系の場合、ホルンブレンドの閉止温度は 700°C 程度と見積もられる (例えば, Burton and O'Nions, 1990)。一方、Rb-Sr 全岩アイソクロン年代は岩体の貫入、固結時期を表すと考えられ (Moorbath, 1975), その閉止温度は 650 - 700°C 程度と見積もられる (Harrison *et al.*, 1979)。ホルンブレンドを用いた

Table 1. Rb, Sr, Sm and Nd concentrations and Sr and Nd isotopic data of the Yoshiwa quartz diorite

Sample		Rb ppm	Sr ppm	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$
74	WR	13	502	0.076	0.70641 ± 0.00001
81A	WR	77	311	0.717	0.70797 ± 0.00001
86A	WR	113	269	1.219	0.70904 ± 0.00001
93	WR	38	514	0.216	0.70671 ± 0.00001
94	WR	16	532	0.086	0.70655 ± 0.00001
95	WR	45	396	0.331	0.70682 ± 0.00001
96	WR	31	329	0.268	0.70692 ± 0.00001
108	WR	44	412	0.307	0.70693 ± 0.00001
Sample		*Sm ppm	*Nd ppm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$
108	WR	3.48	15.3	0.1375	0.512525 ± 0.000009
108	FF	1.19	6.38	0.1128	0.512496 ± 0.000014
108	Hb	7.28	28.5	0.1544	0.512542 ± 0.000009

WR, whole rock; FF, felsic fraction; Hb, hornblende.

*: determined by isotope dilution.

Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン法において見積もられる閉止温度と Rb-Sr 全岩アイソクロン法において見積もられる閉止温度との間にはほとんど差はなく、その Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代は任意の岩体の固結時期に近い年代を示すと考えられる。既述したように、吉和石英閃緑岩体の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代と Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代は誤差の範囲内で一致する。なお、吉和石英閃緑岩体は白亜紀の花崗斑岩体の貫入を受けており、その貫入時に熱的影響を被った可能性があるが、この花崗斑岩体は非常に小規模であることから、同石英閃緑岩体は両系の閉止温度に達するほどの熱的影響は受けなかったものと判断される。以上の考察から、吉和石英閃緑岩体の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代は岩体の固結時期を示していると考えられる。したがって、吉和石英閃緑岩体はジュラ紀中～後期に貫入固結したものと判断される。

前述したように、池田・早坂 (1994) は京都府舞鶴市西部～大江町東部地域に分布する舞鶴帯北帯夜久野岩類について、斑れい岩・輝緑岩体がジュラ紀中～後期 (163 Ma) の年代を、花崗岩類が石炭紀～ペルム紀 (286～308 Ma) とジュラ紀中～後期 (142～164 Ma) に二分されることを明らかにした。本論で得られた吉和石英閃緑岩体の年代値は、池田・早坂 (1994) により報告された舞鶴帯北帯夜久野岩類のうち、ジュラ紀のものと一致する。吉和石英閃緑岩体が舞鶴帯の西方延長部に位置することや、その活動時期、岩相など岩石

Fig. 4. Rb-Sr whole rock (a) and Sm-Nd whole rock-mineral (b) isochrons of the Yoshiwa quartz diorite.

Vertical lines show error at 2σ level.

学的性質から判断して、同石英閃緑岩体は舞鶴帯北帯の夜久野岩類に対比される。

吉和石英閃緑岩体の SrI 値は 0.70624 ± 0.00010 と高い値を示す。この値は池田・早坂 (1994) により報告された舞鶴帯北帯夜久野岩類中のジュラ紀の年代を示す斑れい岩・輝緑岩体の SrI 値 (0.70687 ± 0.00020) と類似する。吉和石英閃緑岩体と斑れい岩・輝緑岩体の間には地理的にかなりの距離があるが (Fig. 1), それらのマグマソースは類似した地球化学的性質をもっていたものと判断される。しかし、これらの SrI 値は舞鶴帯北帯夜久野岩類より報告されたジュラ紀の年代をもつ花崗岩類の SrI 値 (0.7073-0.7082) と比較すると低く、両者は起源物質を異にするか、あるいはその生成過程に違いがあった可能性 (例えば、花崗岩類が地殻物質を同化したなど) が示唆される。

謝 辞 本稿をまとめるにあたり、蛍光 X 線分析において島根大学総合理工学部地球資源環境学科の沢田順弘教授には大変お世話になった。赤坂千秋さんには Sr 同位体分析試料の抽出にあたって、終始御協力をいただいた。新潟大学の加々美寛雄教授と濱本拓志

氏には原稿を読んでいただき、有益な助言を賜わった。また査読者の方々からは細部にわたって有益な御指摘を頂いた。以上の方々に深く感謝します。

引用文献

- Burton, K.W. and O'Nions, R.K. (1990), The time-scale and mechanism of granulite formation at Kurunegala, Sri Lanka. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **106**, 66-89.
- Harrison, T.M., Armstrong, R.L., Naeser, C.W. and Harakal, J.E. (1979), Geochronology and thermal history of the Coast Plutonic Complex, near Prince Rupert, British Columbia. *Can. J. Earth Sci.*, **16**, 400-410.
- 長谷 晃 (1964), 古生界。広島県地質図説明書, 31-59.
- 長谷 晃, 門藤正幸, 秀 敬 (1975), 岡山県西部, 井原市付近の弱変成古生層。広島大地研報, **20**, 1-2.
- 長谷 晃, 西村祐二郎 (1979), 中国地方の緑色岩類, 地質雑, **85**, 401-412.
- 早坂康隆 (1987), 西南日本内帯西部地域における中・古生代造構作用の研究。広島大地研報, **27**, 119-204.
- Herzig, C.T., Kimbrough, D.L. and Hayasaka, Y. (1997), Early Permian zircon uranium-lead ages for plagiogranites in the Yakuno ophiolite, Asago district, Southwest Japan. *Island Arc*, **6**, 396-403.
- 飯泉 滋 (1996), 表面電離型質量分析計, MAT262 による岩石・鉱物試料の Sr・Nd 同位体組成の測定。島根大学地球資源環境学研究报告, **15**, 153-159.
- 池田圭一, 早坂康隆 (1994), 京都府北部舞鶴帯北帯夜久野岩類の Rb-Sr 年代。岩鉱, **89**, 454-464.
- 石渡 明 (1978), 舞鶴帯南帯の夜久野オフィオライト概報。地球科学, **32**, 301-310.
- Ishiwatari, A. (1985), Igneous petrogenesis of the Yakuno Ophiolite (Japan) in the context of the diversity of ophiolites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **89**, 155-167.
- 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., Ser. B*, **4**, 16 p.
- Kagami, H., Yokose, H. and Honma, H. (1989), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios of GSJ rock reference samples; JB-1a, JA-1 and JG-1a. *Geochem. J.*, **23**, 209-214.
- 加納 博, 中沢圭二, 猪木幸男, 志岐常正 (1959), 夜久野侵入岩類に伴う高度変成岩類について。地質雑, **65**, 267-271.

- 川野良信 (1994), パーソナルコンピュータを用いた Rb-Sr, Sm-Nd アイソクロン計算プログラム. 情報地質, **5**, 13-19.
- Lugmair, G.W. and Marti, K. (1978), Lunar initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: differential evolution of the lunar crust and mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **39**, 349-357.
- Miyazaki, T. and Shuto, K. (1998), Sr and Nd isotope ratios of twelve GSJ rock reference samples. *Geochem. J.*, **32**, 345-350.
- Moorbath, S. (1975), Evolution of Precambrian crust from strontium isotopic evidence. *Nature*, **254**, 395-398.
- 佐野 栄 (1992), シルル紀の年代を示す夜久野変ハンレイ岩類の Nd 同位体組成. 岩鉱, **87**, 272-282.
- 沢田順弘, 中村唯史, 榎田禎久, Sun Yoon, 徳岡隆夫 (1997), 島根県大田市の掘削コアから発見された 麿陵島の完新世初期火山活動由来の漂着軽石. 第四紀研究, **36**, 1-16.
- Shibata, K., Igi, S. and Uchiumi, S. (1977), K-Ar ages of hornblendes from gabbroic rocks in Southwest Japan. *Geochem. J.*, **11**, 57-64.
- Steiger, R.H. and Jäger, E. (1977), Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Toyohara, F. (1977), Early Mesozoic tectonic development of the northwestern Chichibu geosyncline in west Chugoku, Japan. *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, (2), **19**, 253-334.
- York, D. (1966), Least-squares fitting of a straight line. *Can. J. Phys.*, **44**, 1070-1086.