甌島列島北部地域における断層の構造と K-Ar 年代

藤内 智士*・板谷 轍丸**・大岩根 尚*・清川 昌一***

Fault structures and K-Ar dating of the Northern part of Koshiki Islands, west of Kyushu, Southwest Japan

Satoshi Tonai*, Tetsumaru Itaya**, Hisashi Oiwane* and Shoichi Kiyokawa***

The Koshiki Islands in western Kyushu consist of the Upper Cretaceous to Paleogene sedimentary rocks and some igneous rocks. This area is one of the best places to understand the stratigraphy and structures of western Kyushu area. These structural data enable us to reconstruct the tectonic history of this area.

Based on the characteristics of faults and their crosscutting relationship, we identified two fault systems in the study area. One is the NW-SE trending normal fault system (F_1 faults) and the other is the NNE-SSW trending oblique-slip normal fault system (F_2 faults). K-Ar ages from one of F_1 faults range 17.9–24.8 Ma.

Key words : cataclasite, fault rock, Koshiki Islands, K-Ar dating, tectonic evolution

はじめに

こしきじま
甌島列島は、鹿児島県薩摩川内市西方の天草灘南部海域にあって、主に上甌島、中甌島、下甌島からなる（井上ほか, 1982）。甌島列島を構成する岩石は、上部白亜系姫浦層群および古第三系上甌島層群の堆積岩類と、中部中新統の石英閃緑岩類である（田中・寺岡, 1973；井上ほか, 1979；利光ほか, 2004；Fig. 1）。また、これらの地層は始新世以降の安山岩や斑岩などの岩脈によって貫入されている。これらの島では露頭状態が良く、海岸沿いを中心に断崖が連続的に分布しているため、地層を側方に追跡し、3次元的な広がりや分布を捉えることができる。そのため甌島列島

では、これまで化石に基づいた層序学的、および堆積相解析による堆積学的な研究が報告されてきた（田中・寺岡, 1973；井上ほか, 1979）。その一方で、断層の運動方向や活動年代などの構造地質学的な情報については詳しい議論がされておらず、周辺地域の地質や新生代テクトニクスとの関係は不明な部分が多い。これらの問題点を解決するには、甌島列島地域に記録されている造構運動の性質や時期を明らかにする必要がある。そこで、著者らは甌島列島北部において、1) 調査地域に分布する断層の観察、記載、および分類、2) 調査地域南部に分布する断層岩試料の K-Ar 年代測定、を行い、古第三系堆積後の構造発達史について考察した。

受付：2006 年 12 月 4 日 受理：2007 年 3 月 23 日

* 東京大学海洋研究所海洋底科学部門

Department of Ocean Floor Geoscience, Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 1-15-1 Minamidai, Nakano, Tokyo 164-8639, Japan, E-Mail : tohnai@ori.u-tokyo.ac.jp

** 岡山理科大学自然科学研究所

Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science

*** 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻

Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University

地質概説

上部白亜系姫浦層群は、上甌島の西部、中甌島、および下甌島に分布しており、層厚約 4,000 m で、主に砂岩と泥岩の互層からなる。本層群は、岩相および貝化石に基づき、下位より U-I ~ IV 層に区分され、大部分が海成層、一部が非海成層であると報告されている（加納ほか, 1989；利光ほか, 2004）。産出化石から、U-I 層は下部カンパニアン、U-II 層は下部-中部カンパニアンに対比される（Tashiro,

1976; 加納ほか, 1989).

古第三系上甌島層群は, 上甌島の大部分および中甌島北端部に分布しており, 層厚は1,900 m以上で, 礫岩, 砂岩, 泥岩の互層からなる. 下位の姫浦層群とは, 傾斜不整合で重なる. 本層群は岩相に基づき, 下位より中甌層, 小島層, 瀬上層に区分され, それぞれ, 蛇行河川成堆積物, 沿海成堆積物, および浅海成堆積物であると報告されている (井上ほか, 1979). 上甌島層群からは時代決定に有効な化石が産出していないものの, 層序・岩相の類似性から, 天草地域に分布する古第三系に対比されている (利光ほか, 2004).

火成岩類は, 岩株状の石英閃緑岩と岩脈群とに大別される (井上ほか, 1982). 石英閃緑岩体は, 上甌島の北部に露出する. 上甌島に分布する石英閃緑岩からは 14.0 ± 1.6 Ma のフィッシュントラック年代, また, 双子島 (上甌島の西方約 5 km に位置する無人島) に分布する花崗閃緑岩からは, 7.5 ± 0.4 Ma の K-Ar 年代が, それぞれ報告されている (宮地・高井, 1988; 石原ほか, 1984). 岩脈群は, 調査地域全域に分布し, 安山岩, 粗面岩, 粗面玄武岩, 斑岩, および石英斑岩からなる. 安山岩, 粗面岩, 粗面玄武岩からなる岩脈は, 幅数十 cm-2 m で, 北西-南東方向に貫入している. 一方, 斑岩, 石英斑岩からなる岩脈は, 幅 1-15 m で, 北北東-南南西方向に貫入している.

断層群の特徴

甌島列島北部地域には 2 つの断層系が卓越し, 本論ではそれぞれ, F_1 断層群, F_2 断層群とした. 以下に, 各断層群の特徴を記載する. なお, 断層岩および複合面構造の分類は, 高木・小林 (1996) に従った.

F_1 断層群は, 北西-南東走向で, 70° 以下の傾斜角を持ち, 幅 1-30 m の脆性剪断帯が発達している. 脆性剪断帯は主にカタクレサイトからなり, Y-P 剪断面やリーデルシェアなどの複合面構造が発達することがある. また, 剪断帯中および断層周辺の母岩中にみられる割れ目を, 方解石や石英が充填していることがある. 剪断面上には変位方向を示す条線が残っている. 複合面構造や条線の方法は, F_1 断層群が破砕帯形成時に正断層として活動したことを示す.

F_2 断層群は, 北北東-南南西走向で, 60° 以上の傾斜角を持ち, 幅数 cm-1 m の破砕帯が発達している. 破砕帯は断層ガウジ, または断層角礫岩からなり, 面構造は認められない. 破砕帯中の割れ目を, 方解石や石英が充填していることがある. 地層の変位, 剪断面上の条線およびステップは, 若干の横ずれ成分を伴った斜めずれ正断層を示す. F_2 断層群が示す横ずれ成分は, 右ずれのことが多い. F_2 断層群は, F_1 断層や岩脈群を切断しており, その逆は認められない. このことより F_2 断層群は, F_1 断層群や岩脈群よりも

Fig. 1 Geologic map of the northern part of Koshiki Islands modified after Inoue et al. (1982).

形成年代が若く, 甌島列島北部地域で最も新しい構造であることがわかる. 甌島列島周辺の海底地形からは, F_2 断層群と走向が類似する沖縄トラフ北部の形成に伴ってできた正断層が報告されている (木村ほか, 1999).

K-Ar 年代測定

調査地域に分布する F_1 断層群について, 断層岩の年代測定を行った. 断層岩に含まれる自生の雲母粘土鉱物による K-Ar 年代測定から, 断層活動時期を推定する研究が行われている (Lyons and Snellenburg, 1971; 柴田・高木, 1988; 田中ほか, 1992).

本研究では, 調査地域南部にあたる下甌島吹切浦に露出する, 葉片状カタクレサイトを採取して測定を行った (HI-3, HI-8, HI-9; Figs. 2a, b). 試料採取地点において, 本断層は姫浦層群の砂岩泥岩互層中に認められる. 脆性剪断帯の南側はカタクレサイトからなり, 北側は面構造が顕著な葉片状カタクレサイトからなる (Figs. 2b, c). 葉片状カタクレサイトは, 黒色の基質と白色または黄褐色の砂岩破片で構成される (Fig. 2c). 鏡下観察より, 砂岩破片は主に石英, 長石からなり, 緑泥石, 白雲母を伴うこと

Fig. 2 Outcrop and microscopic photographs of a F_1 fault at Higireura, Shimokoshiki Island. a) Overview of the fault. This fault is trending northwest to southeast and dipping to southwest. A white quadrangle shows the area of Fig. 2b. b) Shear zone of the fault. White circles and a rectangle show sample localities for K-Ar dating and the area of Fig. 2c respectively. c) Cutting plane of foliated cataclasite. d) A photomicrograph of foliated cataclasite (HI-8).

がわかった (Fig. 2d). また、基質中および砂岩破片中に発達する剪断面に沿って、粘土鉱物が形成されているのが認められた。なお本断層では、脆性剪断帯および周辺の母岩中に発達する割れ目は、鉱物によって充填されていない。

採取した試料は、水簸および遠心分離により、 $0.5\text{--}1\mu\text{m}$ 、 $1\text{--}2\mu\text{m}$ 、 $2\text{--}4\mu\text{m}$ の3つの粒度に分離し、それぞれの粒度ごとに年代測定を行った。K-Ar年代測定には、岡山理科大学自然科学研究所の機器を使用した。カリウムの定量は、炎光分光分析法で行った。試料をフッ酸・硝酸によって分解した後、セシウム 2,000 ppm を含む希塩酸溶液として測定した。測定誤差は $\pm 2\%$ である。アルゴン同位体比の測定は、 ^{38}Ar をスパイクとする同位体希釈法で行った。年代値の計算に使用した定数は、 $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}/\text{yr}$ 、 $\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10}/\text{yr}$ 、 $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.0001167$ (原子数比) である (Steiger and Jäger, 1977)。カリウム分析方法、アルゴン分析方法、および年代誤差の計算は、長尾ほか (1984) に従った。

測定の結果を Table 1 に示した。これらの試料は X 線回析 (XRD) より、雲母粘土鉱物、スメクタイト、石英、曹長石からなることがわかった。XRD の結果が示す測定試料の構成鉱物より、測定した年代値は、雲母粘土鉱物の年

代を示すと判断した。得られた年代値は $17.9\text{--}24.8\text{ Ma}$ の幅を持っている。HI-3 は、他の 2 試料に比べて年代値が古く、同一試料では粒度が大きいほど年代値が古い。

議 論

断層岩に含まれる自生の雲母粘土鉱物は、破碎帯形成後、主に熱水変質によって形成される。一方、断層岩には母岩起源の碎屑性雲母粒子が含まれることもある (Tanaka et al., 1995 ; Solum et al., 2005)。この場合、得られる結果は、それぞれの雲母粒子がもつ年代値の混合した値となる。そこで、年代測定を行った試料は、自生の雲母粘土鉱物なのか、それとも碎屑性雲母なのか、あるいは両者が混合しているのかを確認しなければならない。碎屑性雲母粒子の混入について、断層岩に含まれる雲母粘土鉱物の結晶度指数 (IC 値) と K-Ar 年代値を両軸とする評価法がある (田中・板谷, 1998)。母岩に含まれる碎屑性雲母は、断層岩形成後に生成した自生の雲母粘土鉱物と比べて、(1) K-Ar 年代値が古い、(2) IC 値が低いことが多い、といった特徴をもつ。このことより、1つの断層岩試料を測定した場合、測定

Table 1 K-Ar ages of a F_1 fault at Higireura, Shimokoshiki Island. The rightmost values show Kübler index by XRD (X-ray diffraction analysis).

Locality	Sample No.	Grain size (μm)	Potassium (wt. %)	Rad. argon 40 (10^{-6}cc STP/g)	K-Ar age (Ma)	Non Rad. Ar (%)	Kubler index ($\Delta 2\theta$)
Higireura	HI-3	0.5-1.0	5.041 $\pm$ 0.101	441.3 $\pm$ 6.7	22.4 $\pm$ 0.6	21.6	0.48
		1.0-2.0	4.396 $\pm$ 0.088	406.6 $\pm$ 6.3	23.7 $\pm$ 0.6	23.4	0.63
		2.0-4.0	3.853 $\pm$ 0.077	364.1 $\pm$ 5.6	24.2 $\pm$ 0.6	23.1	0.55
	HI-8	0.5-1.0	4.416 $\pm$ 0.088	331.7 $\pm$ 5.2	19.3 $\pm$ 0.5	23.4	1.01
		1.0-2.0	3.931 $\pm$ 0.079	308.0 $\pm$ 4.9	20.1 $\pm$ 0.5	24.7	0.85
		2.0-4.0	3.093 $\pm$ 0.062	256.8 $\pm$ 4.6	21.3 $\pm$ 0.6	30.4	0.68
	HI-9	0.5-1.0	5.148 $\pm$ 0.103	368.7 $\pm$ 5.2	18.4 $\pm$ 0.5	18.0	0.93
		1.0-2.0	4.777 $\pm$ 0.096	368.7 $\pm$ 8.0	19.8 $\pm$ 0.6	16.5	0.71
		2.0-4.0	4.197 $\pm$ 0.084	340.7 $\pm$ 5.1	20.8 $\pm$ 0.5	19.3	0.62

Fig. 3 The correlation between the Kübler Index and K-Ar ages of fault rocks.

試料中に含まれる砕屑性雲母の割合が少ないほど、IC 値が高くなり、K-Ar 年代値と IC 値の間には、

$$Y = ae^{-kx} + T \quad (Y: \text{K-Ar 年代値}, X: \text{IC 値}, T: \text{収束値}, a \text{ および } k: \text{定数})$$

で表される相関関係があることが指摘されている (田中・板谷, 1998)。このとき T が、断層岩に含まれる雲母粘土鉱物の形成年代を示す。本研究で用いた断層岩試料、および断層の母岩である姫浦層群の砂岩には、径 $\sim 50 \mu\text{m}$ の砕屑性と思われる白雲母が観察される。そのため、年代測定を行った試料には、白雲母が混入している可能性がある。XRD の結果から、雲母の IC 値を求め、K-Ar 年代値との関係を示したのが Fig. 3 である。Fig. 3 は、年代値が若くなるほど、IC 値が高くなる関係を示す。この結果を、田中・板谷 (1998) が提案した関係式で近似すると、

$$Y = 20.2e^{-2.2x} + 16.6 \quad (\text{相関係数 } R^2 = 0.7024)$$

となり、収束値 $T = 16.6 \text{ Ma}$ となった (Fig. 3)。このことは F_1 断層群の破砕帯が、少なくとも中期中新世には存在していたことを示唆する。この結果は野外で観察される地質構造とも矛盾がない。

ま と め

(1) 鹿児島県甕島列島北部において、地質構造に注目して野外調査を行い、古第三系上甕島層群堆積以後、北西-南東走向の正断層 (F_1 断層群) および、北北東-南南西走向の横ずれ成分を伴う正断層 (F_2 断層群) が発達することを明らかにした。

(2) 調査地域南部に露出する F_1 断層の断層岩について

K-Ar 年代測定を行い, 17.9–24.8 Ma の年代値を得た。K-Ar 年代値と IC 値との関係は, F₁断層群が中期中新世には脆性剪断帯を伴って発達していたことを示唆する。

謝 辞

東京大学海洋研究所の芦 寿一郎助教授には, 本論をまとめるにあたり, 有益な助言をいただいた。蒜山地質年代研究所の八木公史博士, 郷津知太郎博士には, K-Ar 年代測定について指導していただいた。現地での野外調査の際には, 塩田保憲氏, 岸 広徳氏, 橋野 巧氏をはじめとする薩摩川内市役所里支所, 上甌支所, 鹿島支所, ならびに甌島の多くの方々にお世話していただいた。以上の方々に深く感謝いたします。なお, 本研究を進めるにあたり藤内・大岩根はそれぞれ平成 15, 16 年度の「松本達郎教授奨学金資金」の一部を使用した。

文 献

- 井上英二・佐藤良昭・高井保明・中尾従三, 1979: 鹿児島県上甌島の古第三系. 地質調査所月報, **30**, 141–176.
- 井上英二・田中啓策・寺岡易司, 1982: 中甌地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 99 p.
- 石原舜三・柴田 賢・寺島 滋, 1984: 南九州西方ブラネライト鉍化作用を伴う双子島花崗閃緑岩の年代とその構造的背景. 鉍山地質, **34**, 45–50.
- 加納 学・利光誠一・田代正之, 1989: 鹿児島県甌島地域の姫浦層群の層序と堆積相. 高知大学学術研究報告 (自然科学), **38**, 157–172.
- 木村政昭・Yungang, W.・八木秀憲, 1999: 琉球弧海域の海底地質構造および発達史. 地質ニュース, **543**, 24–38.

Lyons, J.B. and Snellenburg, J., 1971: Dating faults. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **87**, 1749–1752.

宮地六美・高井真夫, 1988: 九州の第三紀花崗岩類のフィッシュントラック年代. 九大教養地研報, **26**, 1–3.

長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 1984: K-Ar 年代法による年代測定. 岡山理科大蒜山研報, **9**, 19–38.

柴田 賢・高木秀雄, 1988: 中央構造線沿いの岩石および断層内物質の同位体年代—長野県分杭峠地域の例—. 地質学雑誌, **94**, 35–50.

Solum, J.G., van der Pluijm, B.A. and Peacor, D.R., 2005: Neocrystallization, fabrics and age of clay minerals from an exposure of the Moab Fault, Utah. *Jour. Struct. Geo.*, **27**, 1563–1576.

Steiger, R.H. and Jäger, E., 1977: Subcommission of geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359–362.

高木秀雄・小林健太, 1996: 断層ガウジとマイロナイトの複合面構造—その比較組織学. 地質学雑誌, **102**, 170–179.

田中秀実・板谷徹丸, 1998: 活断層の下になにがあるのか 構造岩石学が示す震源域の実態. 科学, **68**, 246–254.

田中秀実・坂 幸恭・安部武史・小浜俊介・板谷徹丸, 1992: 赤石裂線の断層ガウジとその K-Ar 年代. 地質学雑誌, **98**, 39–48.

Tanaka, H., Uehara, N. and Itaya, T., 1995: Timing of the cataclastic deformation along the Akaishi Tectonic Line, Central Japan. *Contrib. Min. Petrol.*, **120**, 150–158.

田中啓策・寺岡易司, 1973: 鹿児島県甌島の上部白亜系姫浦層群. 地質調査所月報, **24**, 157–184.

Tashiro, M., 1976: Bivalve faunas of the Cretaceous Himenoura Group in Kyushu. *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, **19**, 102 p.

利光誠一・尾崎正紀・川辺禎久・川上俊介・駒澤正夫・山崎俊嗣, 2004: 20 万分の 1 地質図幅「甌島及び黒島」, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.