北海道北部, 利尻島, 港町層の溶岩の K-Ar 年代と古地磁気方位

K-Ar age and paleomagnetic direction of a lava flow in the Minatomachi Formation, Rishiri Island, off north Hokkaido, Japan

植木岳雪* 近藤玲介*

Takeyuki Ueki* and Reisuke Kondo*

2010年5月6日受付.

2010年6月20日受理.

* 産業技術総合研究所地質情報研究部門

Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan

Corresponding author; T. Ueki, gakusetsu-ueki@aist.go.jp

Abstract: K-Ar dating and paleomagnetic measurements were performed for a lava flow in the Minatomachi Formation, Rishiri Island, off north Hokkaido, Japan. The newly obtained K-Ar age of 18.2 ± 1.7 Ma and normal paleomagnetic polarity of the lava suggest that the Minatomachi Formation was formed during an interval of normal paleomagnetic polarity in the late Early Miocene. The Minatomachi Formation corresponds to 19–17 Ma volcanism in northern central Hokkaido, which is related to the onset of spreading in the Japan Sea Basin.

Keywords: Minatomachi Formation, K-Ar dating, Paleomagnetic measurement, Miocene, Hokkaido

はじめに

北海道北部沖の利尻島には、約20万年前から数千年前まで活動した利尻火山が発達している(石塚, 1999). 著者らは利尻火山の編年と発達史に関する研究を行ってきたが(植木・近藤, 2008; 近藤・塚本, 2009 など), その基盤をなす水中火山岩類からなる港町層(松井ほか, 1967), 珪藻質泥岩からなる鷺泊層(松井ほか, 1967)の記載と年代データは、利尻火山の噴出物と比較して大きく不足していた。鷺泊層の年代は、近年珪藻化石により9.9–9.16 Ma(嵯峨山, 2002), 放散虫化石により11.7–9.1 Ma(本山ほか, 2009)と決定されたが、港町層の年代は岩相、岩質、火山岩の化学組成が類似する礼文島南部の召国層(長尾ほか, 1963)の溶岩のK-Ar年代(10.4 ± 2.2 Ma; 後藤ほか, 1995)から10 Ma頃と推定されているだけである(石塚, 1999). また、利尻島南西沖から礼文島周辺の海底には、港町層と召国層が白亜系の礼文層群(長尾ほか, 1963)を覆って広く分布するとされているが(海上保安庁水路部, 1982, 1991), 港町層の年代が不明なため、港町層と召国層の層序・分布については不明確であっ

た。

北海道北部に中新世の火山岩をもたらした火成活動は、ごく小規模な19–17 Maのものと大規模な14–9 Maのものに区分されており、それらは日本海の拡大によるとされている(後藤ほか, 1995; 広瀬, 1999; 広瀬・中川, 1999). 一方、日本海の拡大に伴う東北日本弧の反時計回りの回転の時期やブロック境界については諸説があるが、北海道の中新世の火山岩の古地磁気データは絶対的に不足している。今回報告する港町層の溶岩のK-Ar年代と古地磁気方位は、北海道北部の中新統の層序・分布、中新世の火成活動やテクトニクスに関する議論に寄与するものである。

試料採取地点

利尻島北岸には港町層が断続的に露出しているが、利尻富士町港町の南東約800 m (Fig. 1.A, 1.B: 世界測地系で北緯45度14分1秒, 東経141度14分0秒)では最も露出が良好である。そこでは、下位から層厚4 m以上の角礫岩、層厚約1.5 mの角礫を多量に含む泥岩、層厚約4 mの角礫岩、層厚約8 mの安山岩溶岩、層厚12 m以上の角礫岩が重なる(Fig. 1.C). 地層全体は西北西–東南東の走向で、南に50°程度傾斜している。礫はすべて安山岩質である。安山岩溶岩は新鮮で、風化・変質していない。上下は赤色酸化して自破碎しており、板状節理が発達している。斑晶鉱物は最大径1.2 mmの斜長石を主体とし、斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物を伴う。石基は、自形の斜長石が孤立する細粒なインターグラニユラー組織を示す。K-Ar年代測定、古地磁気測定に供する試料は、溶岩の基底から約50 cm上位で採取した。

K-Ar 年代測定

溶岩のK-Ar年代測定は、斜長石斑晶を分析試料として(株)蒜山地質年代学研究所に依頼した。試料を100–200メッシュサイズ(75–150 μm)に粉碎し、ハンド磁石と電磁分離器によって磁性を持つ鉱物を除去して、石基を分離した。その後、ポリタングステン酸ナトリウム(SPT)を用いて、斜長石のみを重液分離した。最後に、脱イオン水を用いて脱塩処理を行った。分離された斜長石の純度は95%以上である。カリウムの定量には、2,000 ppmのセシウムをイオン化制御剤に用いた蛍光分光法(長尾ほか, 1984)を適用した。カリウムの壊変定数は、Steiger and Jäger (1977)に従った。アルゴン同位体比の測定には、 ^{38}Ar をスパイクとする同位体希釈法(長尾ほか, 1984)を適用した。K-Ar年代測定の結果をTable 1に示す。港町層の溶岩のK-Ar年代は、 18.2 ± 1.7 Ma (1σ)であった。

Fig. 1. Outlined geology of the Rishiri Island, off north Hokkaido, Japan (A), exposure of the Minatomachi Formation and the sampling site of a lava (B), and geologic columnar section of the sampling site (C). Geology of the Rishiri Island is simplified after Ishizuka (1999). Samples for paleomagnetic measurements were derived from the upper Miocene Oshidomari Formation. Base map showing the sampling sites is 1:25,000 digital topographic map of Wakkanai published by Geographical Institute of Japan.

Table 1. K-Ar dating result of a lava in the Minatomachi Formation.

Sample	Analyzed material	Potassium (wt. %)	Rad. ^{40}Ar (10^{-8} ccSTP/g)	K-Ar age ($\text{Ma} \pm 1\sigma$)	Non Rad. Ar (%)
lava	plagioclase	0.113 ± 0.006	8.03 ± 0.64	18.2 ± 1.7	82.4

古地磁気測定

携帯型ガソリンエンジンドリルを用いて直径 2.5 cm のコア試料を 6 本採取し、高さ 20 mm の試片を 2 つ切断した。各試料の方位付けには、磁気コンパスを用いた。残留磁化の測定および段階交流消磁実験 (progressive alternating field demagnetization, PAFD) には、2G 社製超伝導磁力計 (モデル 760R) を用いた。PAFD は 0 ~ 10 mT では 2.5 mT おきに、10 ~ 80 mT では 5 mT おきに行った。段階熱消磁実験 (progressive thermal demagnetization, PThD) には、Magnetic Measurements 社製熱消磁装置 (モデル MMTD-18) を用いた。PThD は室温から、100 ~ 500 °C では 50 °C おき、500 ~ 620 °C では 30 °C おきの最高温度で行った。試料は空気中で加熱し、各消磁段階の最高温度の加熱時間は 30 分とした。PAFD, PThD の各消磁段階における残留磁化ベクトルを直交面投影図 (Zijderveld, 1967) に表し、主成分分析法 (Kirschvink, 1980) によって原点に向かって直線的に減衰する安定な磁化成分の方向を求めた。残留磁化ベクトルの傾動補正は、港町層全体の平均走向 $N67^\circ W$ 、平均傾斜 $55^\circ S$ (小林, 1987) を用いて行った。

最初に 2 本のコア試料のテスト試片を PAFD と PThD に供したところ、PAFD の 15 mT 以上、PThD の 300 °C ある

いは 350 °C 以上の消磁段階で粘性残留磁化が除去され、それらの安定な磁化成分の方向は、偏角 $-25.2 \sim -84.0^\circ$ 、伏角 $35.9 \sim 52.4^\circ$ の範囲で同様であった (Fig. 2)。そこで、残りのコア試料の試片に PAFD を行い、PAFD の安定な磁化成分の方向を平均することによって、試料の残留磁化方位を計算した。6 本のコア試料全てから PAFD によって安定な磁化成分が得られ、それらの MAD の平均は 2.8° であった。港町層の溶岩の傾動補正後の残留磁化方位は、偏角 -49.7° 、伏角 43.9° であり、それらの α_{95} は 12.7° 、 κ は 28.7 であった (Table 2)。

港町層の年代とその意義

港町層の溶岩の K-Ar 年代は 18.2 ± 1.7 Ma であり、その古地磁気極性は正であった (Tables 1, 2)。前期中新世では、古地磁気極性が 15 ~ 85 万年のサイクルで変化しているので (例えば, Cande and Kent, 1995), K-Ar 年代から港町層の古地磁気層序を正確に決定することはできない。ここでは 16.5 Ma から 19.9 Ma の間の正磁極帯 C5Cn.3n, C5Dn, C5En, C6n に対比される可能性を指摘するととめておく。

従来、港町層は礼文島の召国層と同時代の地層とみなされていた (石塚, 1999)。一方、召国層に覆われる久種湖ドレイイトの K-Ar 年代は 18.2 ± 1.2 Ma (Goto and Wada, 1991)

Fig. 2. Progressive alternation field and thermal demagnetization (PAFD and PThD) results for representative samples plotted on orthogonal vector diagrams. PAFD and PThD were performed for specimens cut from the same core sample. Solid and open circles are the projections in the geographic coordinates of remanence vectors on the horizontal and north-south vertical planes, respectively. Unit of magnetization intensity is Am^2 .

Table 2. Site-mean remanent direction data for a lava in the Minatomachi Formation by progressive alternating field demagnetization experiments.

Sample	Demag	N	D	I	Dc	Ic	α_{95}	κ	λ	ϕ
lava	PAFD	6	-115.3	39.9	-49.7	43.9	12.7	28.7	60.1	68.4

Demag, demagnetization method; PAFD, progressive alternation field demagnetization; N, total number of samples; D and I, declination and inclination of in situ site-mean remanent magnetization directions; Dc and Ic, declination and inclination of tilt-corrected site-mean remanent magnetization directions; α_{95} , radius of 95 % confidence cone ($^{\circ}$); κ , Fisher's (1953) precision parameter; λ and ϕ , latitude and longitude ($^{\circ}$) of virtual geomagnetic pole (VGP).

であり、それは港町層の溶岩の K-Ar 年代と同じである。したがって、港町層は召国層よりも古く、久種湖ドレライトと同時期の地層であることが明らかになった。

北海道北部の新第三紀の火成活動は、19～17 Ma と 14～9 Ma の 2 つの時期に区分される（後藤ほか, 1995; 広瀬, 1999; 広瀬・中川, 1999）。19～17 Ma の放射年代値を示すものは、最北部にある久種湖ドレライトと^{ひんねしり}敏音知溶岩だけであり、それらの総噴出量は 5 km^3 以下である。一方、14～9 Ma の放射年代値を示すものは北海道北部の全域に分布し、それらの総噴出量は 650 km^3 以上である。港町層の溶岩は、14～9 Ma に比べて小規模であった 19～17 Ma の火成活動に伴うものと考えられる。音響反射面から、海上保安庁水路部（1982）は礼文島周辺から利尻島西方の海底下の地層を召国層、海上保安庁水路部（1991）は港町層に対比し、両者は矛盾している。陸上では、港町層は利尻島北岸に小規模に分布し、それと同時期の久種湖ドレライトも礼文島の 1 地点のみで岩脈として分布するだけであるが、召国層は礼文島全体に分布している。港町層は召国層よりも古く、港町層と召国層の分布の違いを考慮すると、礼文島周辺から利尻島西方の

海底下の地層は召国層に対比される可能性が高い。

日本海の拡大に伴って東北日本弧は中新世に反時計回りの回転をしているが、その時期については 15 Ma 頃（Otofuji et al., 1985, 1994）あるいは 20～17 Ma（Yamazaki, 1989; Hoshi and Takahashi, 1997, 1999; Hoshi and Matsubara, 1998; Takahashi et al., 1999 など）、そのブロック境界については単一のブロック（Otofuji et al., 1985, 1994）あるいは 2 つのブロック（Hoshi and Takahashi, 1999）という説が出されている。これらの議論は主に関東地方北部から東北地方に分布する中新統の古地磁気方位に基づいている。Fujiwara and Sugiyama (1986) によれば、北海道南部の渡島半島では 21.7～24.3 Ma, 14.5～17.1 Ma の地層の古地磁気方位はそれぞれ $46 \sim 69^{\circ}$, $19 \sim 28^{\circ}$ 西偏している。一方、渡島半島の 11.2～14.5 Ma の地層（Fujiwara and Sugiyama, 1986）、積丹半島の 5～15 Ma の地層（Tanaka et al., 1991）の古地磁気方位は南北方向である。港町層の溶岩の古地磁気方位は、利尻島北部の現在の地球磁場方向（偏角 10° , 伏角 60° ）および地心双極子磁場の方向（偏角 0° , 伏角 63° ）と異なり、約 50° 西偏している。この港町層の溶岩の西偏し

た古地磁気方位は, Fujiwara and Sugiyama (1986), Tanaka et al. (1991) の古地磁気データと調和的であり, 東北日本弧の 20 ~ 17 Ma の反時計回りの回転による可能性がある。

文 献

- Cande, S. C. and Kent, D. V., 1995, Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, **100**, 6093-6095.
- Fujiwara, Y. and Sugiyama, R., 1986, Post-Oligocene tectonic rotation of southeast Hokkaido from paleomagnetic evidence. *Rock Mag. Paleogeophys.*, **13**, 15-18.
- 後藤芳彦・中川光弘・和田恵治 (Goto, Y., Nakagawa, M. and Wada, K.), 1995, 北海道北部の中新世火山活動の活動場: K-Ar 年代と主成分化学組成からの推定. 岩鉱 (*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol./Ganko*), **90**, 109-123.
- Goto, Y. and Wada, K., 1991, The middle Miocene alkali dorelite from Rebun Island, northeastern Japan Sea. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **86**, 375-378.
- 広瀬 亘 (Hirose, W.), 1999, 北海道中部～東部における新第三紀火山活動の時空分布. 地下資源調査所報告 (*Rep. Geol. Surv. Hokkaido*), no. 70, 97-111.
- 広瀬 亘・中川光弘 (Hirose, W. and Nakagawa, M.), 1999, 北海道中部～東部の新第三紀火山活動: 火山学的データおよび全岩化学組成からみた島弧火山活動の成立と変遷. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **105**, 247-265.
- Hoshi, H. and Matsubara, T., 1998, Early Miocene paleomagnetic results from the Ninohe area, NE Japan: implications for arc rotation and intra-arc differential. *Earth Planets Space*, **50**, 23-33.
- Hoshi, H. and Takahashi, M., 1997, Paleomagnetic constraints on the extent of tectonic blocks and the location of their kinematic boundaries: Implications for Miocene intra-arc deformation in Northeast Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **103**, 523-542.
- Hoshi, H. and Takahashi, M., 1999, Miocene counterclockwise rotation of Northeast Japan: a review and new model. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **50**, 3-16.
- 石塚吉浩 (Ishizuka, Y.), 1999, 北海道北部, 利尻火山の形成史. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **44**, 23-40.
- 海上保安庁水路部 (Japan Hydrographic Association, Japanese Maritime Safety Agency), 1982, 沿岸の海の基本図「礼文島」(5 万分の 1) および同説明書 [*Basic map of the coastal area of Rebun Island and explanation text*]*. 31p.
- 海上保安庁水路部 (Japan Hydrographic Association, Japanese Maritime Safety Agency), 1991, 沿岸の海の基本図「利尻島」(5 万分の 1) および同説明書 [*Basic map of the coastal area of Rebun Island and explanation text*]*. 58p.
- Kirschvink, J. L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. Jour. Roy. astron. Soc.*, **62**, 699-718.
- 小林哲夫 (Kobayashi, T.), 1987, 利尻火山の地質. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **93**, 749-760.
- 近藤玲介・塚本すみ子 (Kondo, R. and Tsukamoto, S.), 2009, 北海道北部, 利尻火山西部における OSL 年代測定による古期火山麓扇状地の形成年代. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **48**, 243-254.
- 松井和典・一色直記・秦 光雄・山口昇一・吉井守正・小野晃司・佐藤博之・沢村孝之助 (Matsui, K., Isshiki, N., Hata, M., Yamaguchi, S., Yoshii, M., Ono, K., Sato, H. and Sawamura, K.), 1967, 5 万分の 1 地質図幅「利尻島」および同説明書 (*The Geological sheet map of Rishirito, scale 1: 50,000 and its explanatory text*). 北海道開発庁 (Hokkaido Development Agency), 25p.
- 本山 功・岩井雅夫・佐藤雅彦 (Motoyama, I., Iwai, M. and Sato, M.), 2009, 利尻島の新第三系と第四系より産出した放射虫化石. 大阪微化石研究会誌特別号 (*News of Osaka Micropaleontologists, Spec. Vol.*), no. 14, 109-115.
- 長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一 (Nagao, K., Nishido, H., Itaya, T. and Ogata, K.), 1984, K-Ar 法による年代測定. 岡山理科大学火山研究所研究報告 (*Bull. Hiruzen Res. Inst., Okayama Univ. Sci.*), no. 9, 19-38.
- 長尾捨一・秋葉 力・大森 保 (Nagao, K. and Itaya, T.), 1963, 5 万分の 1 地質図幅「礼文島」および同説明書 (*The Geological sheet map of Rebun, scale 1: 50,000 and its explanatory text*). 北海道開発庁 (Hokkaido Development Agency), 43p.
- Otofuji, Y., Kambara, A., Matsuda, T. and Nohda, S., 1994, Counterclockwise rotation of northeast Japan: Paleomagnetic evidence for regional extent and timing of rotation. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **121**, 503-515.
- Otofuji, Y., Matsuda, T. and Nohda, S., 1985, Paleomagnetic evidence for the Miocene counter-clockwise rotation of Northeast Japan: rifting process of the Japan Arc. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **75**, 265-277.
- 嵯峨山 積 (Sagayama, T.), 2002, 北海道利尻島および積丹半島の新第三系の地質年代と対比. 北海道立地質研究所報告 (*Rep. Geol. Surv. Hokkaido*), no. 73, 99-106.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Tanaka, H., Tsunakawa, H., Yamagishi, H. and Kimura, G., 1991, Paleomagnetism of the Shakotan Peninsula, west Hokkaido, Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **43**, 277-294.
- Takahashi, M., Hoshi, H. and Yamamoto, T., 1999, Miocene counterclockwise rotation of the Abukuma Mountains, Northeast Japan. *Tectonophysics*, **306**, 19-31.
- 植木岳雪・近藤玲介 (Ueki, T. and Kondo, R.), 2008, 利尻火山, 杵形溶岩流の噴出年代: 溶岩直下の腐植質シルト層に含まれる炭化木片の AMS ^{14}C 年代に基づいて. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **47**, 349-353.
- Yamazaki, T., 1989, Paleomagnetism of Miocene sedimentary rocks around Matsushima Bay, Northeast Japan and its implication for the time of rotation of Northeast Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **41**, 533-548.
- Zijderveld, J. D. A., 1967, A. C. demagnetization of rocks: Analysis of results. In Collinson, D., Creer, K. and Runcorn, S., eds., *Methods in Palaeomagnetism*, Elsevier, Amsterdam, 256-286.

* English translation from the original written in Japanese