

## 古地磁気と全岩化学組成から見た 桜島火山南岳南西斜面に分布する溶岩流の噴出年代

味喜大介・宇都浩三<sup>(1)</sup>・Nguyen HOANG<sup>(1)</sup>・石原和弘

(1) 産業技術総合研究所

### 要 旨

桜島火山南岳南西斜面の持木川河岸に分布する溶岩流について古地磁気測定および全岩化学組成分析を行った。その結果、9世紀後半から11世紀前半の古地磁気学的推定年代を得た。このことはこれまで知られていなかった歴史時代の溶岩流出を伴う噴火があったことを示す。また研究地域の一部には文明溶岩と考えられる溶岩が小規模に分布しているが、研究地域南側の海岸に達する文明溶岩の岩体とは連続していないことがわかった。

**キーワード：**桜島火山，古地磁気学的年代推定，全岩化学組成，歴史時代の噴火

### 1. はじめに

桜島火山は、始良カルデラの後カルデラ火山であり、主に北岳と南岳からなる複合成層火山である。桜島火山の活動史研究においては、降下軽石堆積物についてはその噴出年代が放射炭素年代測定などにより比較的良好に知られているが（例えば奥野, 2002）、昭和・大正・文明・安永のいわゆる歴史溶岩以外の溶岩類については一部を除いて年代がよくわかっていない。味喜（1999）は、既知の地磁気永年変化を年代基準として用いることで溶岩の古地磁気方位・強度測定から年代を推定できることを示した。また、宇都ら（2005）は、桜島火山の有史時代の噴出物の化学組成はそれ以前の噴出物と有意に異なることを示した。著者らは今回、同様の方法で桜島南西部斜面に分布する溶岩の古地磁気測定と全岩化学組成分析を行い、有史時代の噴出を示唆する推定年代を得たので報告する。

### 2. 試料

現在活動的な桜島南岳はおよそ5千年前に活動を開始し成層火山体を形成している（小林, 1986）。福山（1978）は、南岳成層火山を構成する時代未詳溶岩および火山砕屑物を下位からM1-M4、桜島東部の鍋川付近から流出したと考えられる溶岩をM5として区分した。これらのうち、M1およびM2溶岩に

ついては、M1が4ka頃、M2が2または3ka頃という古地磁気学的推定年代が得られている（味喜, 1999）。また、M5溶岩の年代については降下火砕物層との被覆関係や史料の解釈からAD764年と推定されており（小林, 1982）、古地磁気学的推定年代もこれを支持する（味喜, 1999）。

今回古地磁気測定を行ったのは、福山（1978）がM4溶岩として区分したものの一部で、桜島南西部斜面の持木川（Fig. 1の破線）河岸に分布する溶岩流である。

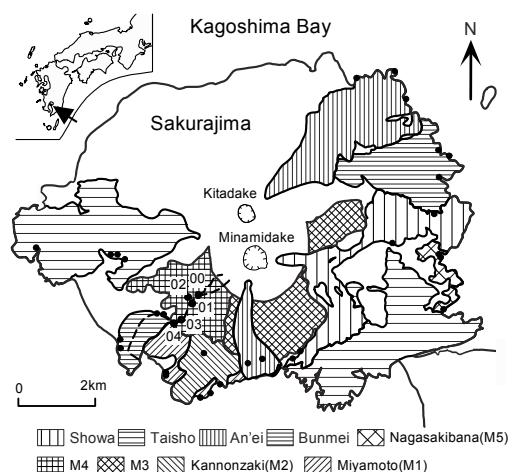


Fig. 1 Distribution of historic and Minamidake lava flows (hatched area, simplified from Fukuyama, 1978), and sampling sites (dots). Dots without numbers are sampling sites of Miki (1999)

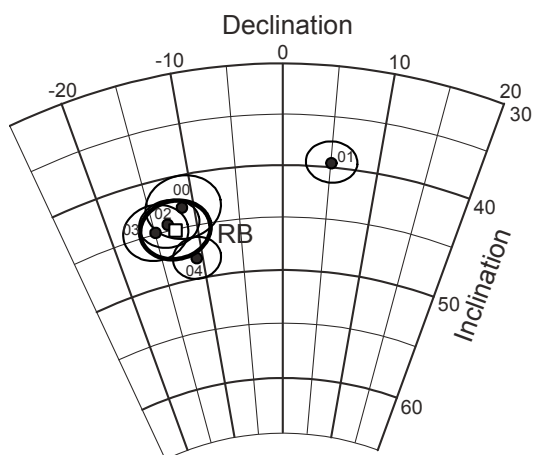


Fig. 2 Site Mean NRM directions of studied lava flows, plotted on equal area projection (lower hemisphere)

M4溶岩は、新鮮な地形を呈するSiO<sub>2</sub>含量が64%程度の複数のフローユニットからなる溶岩流である（福山，1978；福山・小野，1981）。Fig. 1に歴史溶岩および上述の南岳溶岩の分布と試料採取地点を示す。

試料採取地点は、Fig. 1の00-04の5地点である。このうち、地点00と02は、持木川右岸に分布するフローユニットに属し、地点03はそれより下位、また地点04は03と同じかさらに下位のフローユニットに属する。地点01の溶岩は、厚さ数mの溶岩流であり、地点00の溶岩との間に土流堆積物を挟むことからこれより上位であると考えられる。

古地磁気測定用の定方位試料は、上述の各地点で1地点あたり5-11個をエンジンドリルによって採取した。試料の方位付けは磁気コンパスを用い、コンパ

Table 1 Site Mean NRM directions of studied lava

| Site | M           | n  | D<br>°E      | I<br>°down  | $\alpha_{95}$<br>° | k           |
|------|-------------|----|--------------|-------------|--------------------|-------------|
| RB   |             |    |              |             |                    |             |
| 00   | pAFD        | 11 | -11.3        | 43.0        | 3.1                | 217         |
| 02   | pThD        | 7  | -13.4        | 44.4        | 2.4                | 626         |
| 03   | pAFD        | 5  | -15.1        | 44.8        | 2.7                | 817         |
| 04   | pAFD        | 9  | -10.9        | 48.0        | 2.0                | 694         |
|      | <b>mean</b> |    | <b>-12.7</b> | <b>45.1</b> | <b>2.9</b>         | <b>1033</b> |
| 01   | pAFD        | 6  | 5.1          | 39.4        | 2.1                | 1003        |

M: demagnetization method; n: number of samples; D, I: site-mean declination and inclination;  $\alpha_{95}$ , k: 95% confidence angle and precision parameter (Fisher, 1953)

スの読みを補正する現在の地磁気偏角はすべての地点で西偏5.8°とした。

### 3. 古地磁気測定

採取した試料から複数個の試料片を整形して、段階消磁実験や古地磁気強度測定を行った。測定方法は味喜（1999）と同様である。

段階消磁実験の結果、すべての地点の試料で、自然残留磁化（NRM）に、交流消磁と熱消磁のいずれに対してもごく初期の消磁段階で消去される不安定な磁化成分が認められた。地点02を除く4地点では、不安定な磁化成分が消去された後は方位を変えず、ほぼ単一の安定な磁化成分からなることがわかった。

Table 2 Results of absolute paleointensity determination

| Site | n | range<br>°C | f    | g    | q                    | F <sub>L</sub><br>μT | F <sub>E</sub><br>μT | Note              |
|------|---|-------------|------|------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| RB   |   |             |      |      |                      |                      |                      |                   |
| 02   | 7 | RT-320      | 0.39 | 0.82 | 6.6                  | 50.0                 | 48.4 ± 2.3           |                   |
|      | 6 | RT-280      | 0.37 | 0.77 | 5.1                  | 50.0                 | 49.9 ± 2.8           |                   |
| 03   | 7 | 200-440     | 0.46 | 0.82 | 16.6                 | 50.0                 | 50.2 ± 1.1           |                   |
|      | 5 | 200-360     | 0.40 | 0.73 | 31.9                 | 50.0                 | 49.3 ± 0.4           |                   |
| 04   | 6 | 160-360     | 0.30 | 0.79 | 9.4                  | 50.0                 | 48.3 ± 1.2           |                   |
|      | 7 | 120-360     | 0.45 | 0.82 | 14.9                 | 50.0                 | 48.4 ± 1.2           |                   |
|      |   |             |      |      | <b>weighted mean</b> |                      | <b>49.3 ± 0.3</b>    |                   |
| 01   | - | -           | -    | -    | -                    | 50.0                 | -                    | no linear segment |
|      | - | -           | -    | -    | -                    | 50.0                 | -                    | no linear segment |

n; range: number of data point and range of heating temperature (RT: room temperature), used to the paleointensity determination; f, g and q: NRM fraction, gap factor and quality index, respectively, defined by Coe et al. (1978); F<sub>L</sub>: applied field strength at laboratory; F<sub>E</sub>: paleointensity value. The weighting factor (q/F<sub>E</sub>)<sup>2</sup> are used for computing mean paleointensities.

Table 3 Chemical compositions of studied lava

| Site | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Sum    |
|------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------|
| 00   | 64.71            | 0.77             | 16.33                          | 5.31 | 0.13 | 1.41 | 5.20 | 3.92              | 2.02             | 0.20                          | 100.00 |
| 01   | 67.38            | 0.77             | 15.06                          | 4.84 | 0.13 | 1.17 | 3.96 | 4.16              | 2.34             | 0.19                          | 100.00 |
| 02   | 64.75            | 0.77             | 16.27                          | 5.25 | 0.13 | 1.46 | 5.18 | 3.95              | 2.04             | 0.20                          | 100.00 |
| 03   | 64.73            | 0.77             | 16.25                          | 5.30 | 0.13 | 1.45 | 5.21 | 3.94              | 2.03             | 0.20                          | 100.00 |
| 04   | 64.73            | 0.78             | 16.21                          | 5.33 | 0.13 | 1.48 | 5.15 | 3.94              | 2.03             | 0.20                          | 100.00 |

他方、地点02ではNRMは熱消磁によって複数の磁化成分が認められ、そのうちおよそ300°C以下で見られる磁化成分の方位が地点内で一致したが、交流消磁では、熱消磁で見られた複数の磁化成分を十分分離できなかった。このことは、地点02では試料の磁化は熱残留磁化起源であるが溶岩が定置した時の温度が300°C程度であったことを示すと考えられる。そこで、地点02については段階熱消磁の約300°C以下で見られる磁化成分、その他の地点については段階交流消磁に対して安定な磁化成分の方位を試料ごとに求め（Kirschvink, 1980）、地点ごとに平均した。

こうして得られた地点平均磁化方位をFig. 2およびTable 1に示す。いずれの地点も精密度係数が200以上とNRM方位の集中がよく、95%信頼角は2-3°である（Table 1）。地点00および02-04の4地点から得られた平均NRM方位は、西偏約11-15°、伏角約43-48°で、互いに誤差の範囲で一致する（Fig. 2）。一方、地点01の平均磁化方位は東偏約5°、伏角約40°であり、

他の4地点とは大きく異なる（Fig. 2）。

古地磁気強度測定は、地点00を除く4地点から各2個の試料について、改良Thellier法（Thellier and Thellier, 1959 ; Coe, 1967）を用いて行った。測定データの選択や統計的处理には、Coe et al. (1978) の手順に段階消磁実験や初帯磁率測定の結果を加味した方法を用いた（味喜, 1999）。

Table 2に示すように、地点02-04の3地点6試料から得られた古地磁気強度は互いによく一致した。地点01の2試料は自然残留磁化と熱残留磁化の直線性がよくなかったため、古地磁気強度を求めることができなかった。

地点00および02-04のNRM方位および古地磁気強度が互いによく一致することから、これらの属する溶岩はほぼ同時期の一連の噴火活動で噴出した可能性が高い。以下ではこれらを一連のものと考え、便宜的に持木川右岸溶岩と呼ぶ。持木川右岸溶岩の古地磁気方位・強度は、4地点の平均、西偏12.7°、伏角45.1°、95%信頼角2.9°および49.3±0.3μTである。

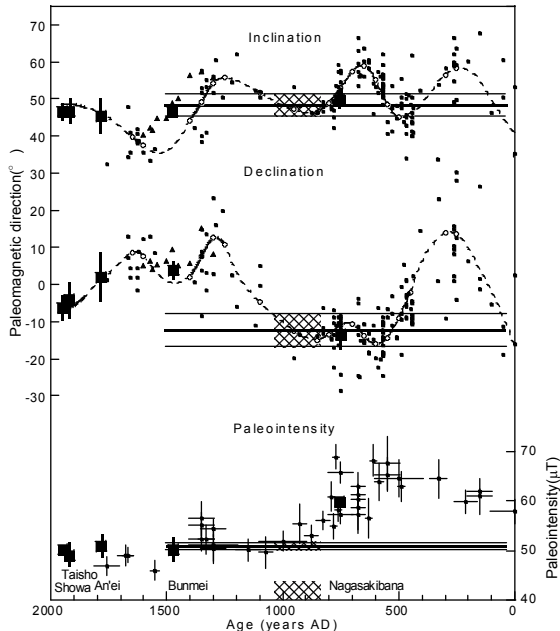


Fig 3 Comparison between paleomagnetic results from RB lava (bold lines) and geomagnetic secular variation in Southwest Japan (after Hirooka, 1971; Fujisawa, 1996; Sakai and Hirooka, 1986).

#### 4. 全岩化学組成分析

全ての試料採取地点から各1個の段階交流消磁実験を終えた試料片について、蛍光X線法による全岩化学組成分析を行った（Table 3）。その結果、地点01を除く4地点の試料はSiO<sub>2</sub>が64.7重量%前後のほぼ一様な組成を示したが、地点01ではSiO<sub>2</sub>が約67重量%と文明溶岩の組成に似る。また、今回の試料は全てP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>やTiO<sub>2</sub>に富むなど宇都ら（2005）が見出した有史時代の噴出物に共通する特徴を示す。

#### 5. 古地磁気学的年代推定

上で求めた古地磁気方位・強度から年代推定を行う際には味喜（1999）と同様の方法によった。すなわち、年代基準として考古遺物試料から求められた地磁気方位の永年変化（Hirooka, 1971; 藤澤, 1996）および地磁気強度の永年変化（Sakai and Hirooka, 1986）を用い、基準地を京都として地心双極子磁場を仮定して地理的補正を行った。

過去2000年間の地磁気永年変化と持木川右岸溶岩の古地磁気方位・強度の比較をFig. 3に示す。京都での値に換算した持木川右岸溶岩の古地磁気方位・強度は、西偏12.5°, 伏角47.9°, 50.7 $\mu$ Tである。

Fig. 3からわかるように、持木川右岸溶岩の古地磁気方位・強度が共に地磁気永年変化と一致するのは9世紀後半から11世紀前半であり。堆積物試料から得られた2000年以前の地磁気方位 (Hyodo et al., 1993) をみても、下位のM2溶岩の噴出時期と考えられる3ka頃まで持木川右岸溶岩の古地磁気方位と一致する時期は認められない。これらのことから、持木川右岸溶岩の古地磁気学的推定年代は9世紀後半から11世紀前半である。地点01の溶岩については1地点のNRM方位が得られたのみであるが、この方位は文明溶岩の古地磁気方位 (味喜, 1999) と一致する。

## 6. 考察

今回得られた持木川右岸溶岩の古地磁気学的推定年代は9世紀後半から11世紀前半であった。化学組成の特徴も $P_2O_5$ や $TiO_2$ に富むなどこの溶岩の年代が有史時代であることを支持する。桜島火山では、9世紀から15世紀前半まで噴火を示唆する史料は確認されておらず、持木川右岸溶岩は、これまで知られていなかった歴史時代の噴火によると考えられる。

南岳南西斜面のM4溶岩に区分されている地域では、異なる場所で採取された多くの試料の化学組成が64重量%程度の $SiO_2$ 含量を示す (福山・小野, 1981; 宇都ら, 2005など) ことから、これらは本稿の持木川右岸溶岩と同時期の噴出物である可能性が高い。なお、宇都ら (2005) ではM4溶岩の噴出時期を仮に約2000年前としていたが、本稿で明らかになったように約1000年前とするべきである。

地点01の溶岩は古地磁気方位・化学組成ともに文明溶岩に類似しており、これが文明溶岩である可能性が高い。桜島火山地質図 (福山・小野, 1981) では南岳南西斜面には文明溶岩の分布は記載されていない。一方、1:15,000火山土地条件図「桜島」 (国土地理院, 1990) では、桜島南西部に分布する文明溶岩を、持木川中流部東方の火口列から現在の持木川的位置を流下して海岸に至ったものと考え、本稿の地点02-04に露出する溶岩をその一部とした。しかし、これまで見てきたように、地点02-04の溶岩の古地磁気方位・強度や化学組成は文明溶岩とは明確に異なっている。したがって、持木川中流部東方の火口列と海岸に至る文明溶岩流は連続していないことは明らかである。文明期の溶岩は存在するが火口列周辺に小規模に分布するのみで、地点01はその一部であると考えられる。

## 7. まとめ

これまで述べてきたことをまとめると以下のようになる。

桜島火山南岳南西斜面の持木川流域に分布する溶岩の古地磁気測定を行い、9世紀後半から11世紀前半の古地磁気学的推定年代を得た。また、持木川中流部東方の火口列周辺には文明期の溶岩流が小規模に分布する。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学防災研究所附属火山活動研究センターのスタッフ諸氏には重要な示唆を頂き、また、試料採取や測定・実験に協力を頂きました。鹿児島大学の小林哲夫教授との議論は有益でした。ここに記して、深く感謝いたします。

## 参考文献

- 宇都浩三・味喜大介・Hoang, Nguen・周藤正史・福島大輔・石原和弘 (2005) : 桜島火山マグマ化学組成の時間変化, 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp. 341-347.
- 奥野充 (2002) : 南九州に分布する最近約3万年間のテフラの年代学的研究, 第四紀研究, 第41巻, pp. 225-236.
- 国土地理院 (1990) : 1:15,000火山土地条件図「桜島」
- 小林哲夫 (1982) : 桜島火山ーこれまでの研究成果と今後の課題, 火山, 第27巻, pp. 277-292.
- 小林哲夫 (1986) : 桜島火山の形成史と火砕流, 文部省科学研究費自然災害特別研究, 計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害」報告書, pp. 137-163.
- 福山博之 (1978) : 桜島火山の地質, 地質学雑誌, 第81巻, pp. 309-316.
- 福山博之・小野晃司 (1981) : 桜島火山地質図 1:25000, 地質調査所.
- 藤澤良祐 (1996) : 考古地磁気推定年代の検討ー瀬戸・東濃 (美濃) 窯を中心にー, 月間地球, 第18巻, pp. 339-343.
- 味喜大介 (1999) : 古地磁気方位・強度測定による桜島の溶岩流の年代推定, 火山, 第44巻, pp. 111-122.
- Coe, R. S. (1967): Paleo-intensities of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks, J. Geophys. Res., Vol. 72, pp. 3247-3262.

- Coe, R. S., Grommé, S., and Mankinen, E. A. (1978): Geomagnetic paleointensities from radio-carbon dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low, *J. Geophys. Res.*, Vol. 83, pp. 3247-3262.
- Fisher, R. A. (1953): Dispersion on a sphere, *Proc. R. Soc. London*, Vol. 217A, pp. 295-305.
- Hirooka, K. (1971): Archaeomagnetic study for the past 2000 years in southwest Japan, *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser Geol. Mineral.*, Vol. 38, pp. 167-207
- Hyodo, M., Itota, C., and Yaskawa, K. (1993): Geomagnetic secular variation from magnetizations of wide-diameter cores of Holocene sediments in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. 45, pp. 669-696.
- Kirschvink, J. L. (1980): The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data, *Geophys. J. Roy. Astro. Soc.*, Vol. 62, pp. 699-718.
- Sakai, H. and Hirooka, K. (1986): Archaeointensity determinations from western Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. 38, pp. 1323-1329.
- Thellier, E. and Thellier, O. (1959): Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique, *Ann. Géophys.*, Vol. 15, pp. 285-376.

(論文受理日：2012年6月8日)

# **Age of Lava Flows in Southwestern Slope of Minamidake, Sakurajima Volcano, Inferred from Paleomagnetic and Chemical Features**

Daisuke MIKI, Kozo UTO<sup>(1)</sup>, Nguyen HOANG<sup>(1)</sup> and Kazuhiro ISHIHARA

(1) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan

## **Synopsis**

Paleomagnetic measurements and chemical composition analysis were carried out on lava flows, distributed around southwestern slope of Minamidake, Sakurajima volcano. A paleomagnetic age from most of studied lava flows is estimated as late 9c to early 11c AD. This may show that there is an unknown 'historic' eruption accompanied with lava flow. A lava flow considerable to be Bunmei lava is also found, but distribution of this lava flow may be small and not connected to larger body of Bunmei lava lied at coast area.

**Keywords:** Sakurajima volcano, paleomagnetical age estimate, chemical composition, historic eruption