

## ウィルソン法による古地磁気強度測定 Testing paleointensity determination using Wilson method

福間 浩司<sup>1\*</sup>; シェルバコフ ヴアレリイ<sup>2</sup>; シェルバコワ ヴァーリヤ<sup>2</sup>  
FUKUMA, Koji<sup>1\*</sup>; SHCHERBAKOV, V. P.<sup>2</sup>; SHCHERBAKOVA, V. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 同志社大学理工学部, <sup>2</sup> ロシア科学アカデミー・ボロク地球物理学研究所

<sup>1</sup>Dept. Env. Sys. Sci., Doshisha Univ., <sup>2</sup>Borok Geophysical Observatory, Russian Academy of Sciences

古典的なテリエ法は未だ古地磁気強度測定のための最も信頼できる方法だが、非常に厳しい、まれにしか満たされない条件 — 自然残留磁化 (NRM) はすべての温度区間で実験室の熱残留磁化 (TRM) に置き換えられる — を必要とする。かなりの量の多磁区粒子が存在する場合、この条件は成立せず、アライ図に見られる曲線から誤った古地磁気強度が得られることになる。

非常に原始的 (e.g., Folgheraiter [1899]) だが本質的にショー法にも使われているような単一ステップ加熱法は、テリエ法に要求される厳格な条件を回避することができる。ウィルソン法は単一ステップ加熱法の一つであり、約半世紀前に提案された (Wilson [1961, 1962])。NRM を高温で連続的に消磁して測定し、同様に実験室で与えた TRM を消磁して比較することで古地磁気強度が得られる。ウィルソン法がこれまでほとんど古地磁気強度測定に使われなかった理由は、磁化を高温で測定する必要があるためである。一方この方法は他の古地磁気強度法より非常に迅速である利点をもっている。自動化された高温磁力計を使用すれば、1-cc キューブを用いたウィルソン法による測定を1時間以内に完了することができる。

三宅島における1983年噴火(地球磁場:  $45.1 \mu\text{T}$ )の玄武岩とスコリアの27個の1-cc キューブを用いてウィルソン法に基づく古地磁気強度測定を行った。1-cc キューブを Borok 地球物理研究所の Orion 三成分試料振動型磁力計を用いて毎分約  $40^\circ\text{C}$  で空気中で加熱し、同時に高温で NRM 3成分を測定した。磁化が初期値の1%未満に低下すると加熱を中止し、 $45 \mu\text{T}$  の磁場中で冷却して TRM を付与した。TRM も NRM と同様に連続的な熱消磁を行った。

測定したサンプルの85%で NRM — TRM 図上にきれいな直線を見た。アンブロッキング温度スペクトルの形状が NRM と TRM の間で本質的に変化していないことを示す。約半分のサンプルから予想される古地磁気強度を得た。隣り合うサンプルのテリエ法も期待される磁場強度を与えたが、幾つかのサンプルではうまくいかなかった。他の半分のサンプルでは、NRM — TRM の直線の傾きが1から大きくずれ、高いまたは低い値に外れた。このことは、熱変質(磁区の変質は含まない)が TRM 容量を増加させたり減少させたりしたが、アンブロッキング温度スペクトルの形状は変化しなかったことを意味する。このような熱変質は NRM — TRM 図では検出されないが、誤まった古地磁気強度を与える可能性がある。

ウィルソン法は、迅速かつ多磁区粒子を含むサンプルにも使えるが、熱変質は必ずしも NRM — TRM 図上の直線性から検出されないことに注意する必要がある、このことは他の単一ステップ加熱法にも当てはまる。

キーワード: 古地磁気強度, ウィルソン法, テリエ法, 高温磁力計

Keywords: paleointensity, Wilson method, Thellier method, high-temperature magnetometer

## 火山岩の古地磁気強度実験におけるチタン磁鉄鉱粒子の顕微鏡観察 Microscopic observation of titanomagnetite grains during paleointensity experiments of volcanic rocks

田中 秀文<sup>1</sup>; 山本 裕二<sup>2\*</sup>

TANAKA, Hidefumi<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Yuhji<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 高知大学 教育学部, <sup>2</sup> 高知大学 海洋コア総合研究センター

<sup>1</sup>Faculty of Education, Kochi University, <sup>2</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

Titanomagnetite (Tmt) grains, some partially maghemitized, of various oxidation levels were microscopically observed under reflected light as a function of temperature step in a Königsberger Thellier Thellier experiment in air. The reflected light microscopy indicated that the brownish colour of homogeneous Tmt turned blue at  $\sim 300$  °C. This false blue colour was caused by submicron scale rugged stripes on the surface, according to scanning electron microscope observations, which was made after the final heating step. The typical grey-to-bluish colour of maghemitized parts of Tmt grains turned to a brownish colour at  $\sim 300$  °C, indicating inversion of titanomaghemite to a mixture of magnetite and ilmenite (Ilm) or haematite (Hem). Although these observations were from Tmt grains on the sample surface, oxidation must have proceeded similarly within samples because the surface changes in the Tmt grains were highly correlated with behaviour of data points on Arai plots. Alterations in Tmt after heating at 610 °C in air for increasing times from 10 to 500 min were evaluated by reflected light microscopy and scanning electron microscopy at the end of the experiment. Mottled patches gradually emerged in the Tmt grains during subsequent heatings. However, the formation of new Ilm lamellae was not observed, even after the final 500 min heating. In conclusion, the alteration of Tmt during laboratory heating in air at  $\sim 600$  °C is likely not due to the typical high-temperature oxidation that forms trellis-type Ilm lamellae. Below  $\sim 400$  °C, the process should be closer to low-temperature oxidation. On the other hand, maghemitized parts of Tmt grains invert instantaneously at 300 °C, and a trellis-type structure with Hem lamellae soon emerges when heated at 610 °C.

## 8～11世紀の岡山県における考古地磁気強度の傾向 Archeointensity trend between 8th and 11th century in Okayama

北原 優<sup>1\*</sup>; 山本 裕二<sup>2</sup>; 畠山 唯達<sup>3</sup>; 鳥居 雅之<sup>4</sup>; 亀田 修一<sup>5</sup>

KITAHARA, Yu<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Yuhji<sup>2</sup>; HATAKEYAMA, Tadahiro<sup>3</sup>; TORII, Masayuki<sup>4</sup>; KAMEDA, Shuichi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 高知大学 大学院 総合人間自然科学研究科, <sup>2</sup> 高知大学 海洋コア総合研究センター, <sup>3</sup> 岡山理科大学 情報処理センター, <sup>4</sup> 岡山理科大学 総合情報学部 生物地球システム学科, <sup>5</sup> 岡山理科大学 生物地球学部 生物地球学科

<sup>1</sup>Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, <sup>2</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, <sup>3</sup>Information Processing Center, Okayama University of Science, <sup>4</sup>Faculty of Informatics, Okayama University of Science,

<sup>5</sup>Faculty of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science

本発表では、岡山県備前市佐山地区における8～11世紀までの期間に属する3サイトの考古地磁気強度の推定値を提示する。用いた焼土試料は、同地区における奈良～平安時代の窯業発展史の解明を主な目的とする考古学的なプロジェクト（岡山理科大学考古学研究室, 2012; 2013）の中で実施された5回の調査の際に、発掘された須恵器古窯跡の床面および壁面より採取されたものである。年代値は、陶器型式編年（e.g. 中村, 2006）に準拠する考古学年代を採用すると、3サイトの内、佐山新池1号窯跡と佐山東山窯跡は8世紀後半（? 775 ± 25年）、佐山東山奥窯跡は10世紀周辺（? 900 ± 50年）である（岡山理科大学考古学研究室, 2012; 2013）。

岩石磁気実験と段階熱消磁実験の結果、(1)これらの試料は加熱に対して安定であり、(2)試料の形状異方性も小さく、(3)磁性粒子集団の大部分が数%のチタンを含むチタノマグネタイトでありブロッキング温度が高いことが分かっている。新池窯からは15個の焼土試料から19試片、東山窯からは10個の焼土試料から10試片、東山奥窯からは9個の焼土試料から19試片を整形し、IZZI テリエ法（2回加熱法; Yu & Tauxe, 2005）による古地磁気強度測定を行った。厳密に設定した合格基準をパスした測定結果から得られた考古地磁気強度は、新池窯が  $61.6 \pm 4.4 \mu\text{T}$  (N=4)、東山窯が  $51.8 \pm 6.5 \mu\text{T}$  (N=8)、東山奥窯が  $49.8 \pm 9.8 \mu\text{T}$  (N=9) となった。これらの値は、予察的に実施した綱川 - ショー法（Tsunakawa and Shaw, 1994; Yamamoto et al., 2003）により得ている強度とも矛盾しない。我々のデータを日本における最新の考古地磁気強度データのコンパイル結果（Yoshihara et al., 2003）と比較すると、3サイトともにデータのばらつきは大きいものの、おおよそ整合的である。平均的な傾向に着目すれば、紀元後600年以降に見られる著しい強度減少の様子についても矛盾していないことが確認できる。

キーワード: 考古地磁気強度, IZZI テリエ法, 綱川 - ショー法, 須恵器古窯

Keywords: Archeointensity, IZZI-Thellier method, Tsunakawa-Shaw method, Old kilns of Sue wares

## 溶結凝灰岩による絶対古地磁気強度測定：相対古地磁気強度と絶対古地磁気強度の対比

### Absolute paleointensity determinations of welded tuffs: Correlations between relative and absolute paleointensity data

藤井 哲夢<sup>1</sup>; 望月 伸竜<sup>2\*</sup>; 長谷川 健<sup>3</sup>; 岡田 誠<sup>3</sup>; 渋谷 秀敏<sup>1</sup>

FUJII, Satomu<sup>1</sup>; MOCHIZUKI, Nobutatsu<sup>2\*</sup>; HASEGAWA, Takeshi<sup>3</sup>; OKADA, Makoto<sup>3</sup>; SHIBUYA, Hidetoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学自然科学研究科, <sup>2</sup> 熊本大学大学院先端機構, <sup>3</sup> 茨城大学理学部

<sup>1</sup>Department of Earth and Environmental Science, Kumamoto University, <sup>2</sup>Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University, <sup>3</sup>Department of Earth Science, Faculty of Science, Ibaraki University

Absolute geomagnetic paleointensities (APIs) have been estimated from igneous rocks, while relative paleomagnetic intensities (RPIs) have been reported from sediment cores. These two datasets have been treated separately, as correlations between APIs and RPIs are difficult on account of age uncertainties. We present a procedure for directly correlating APIs with RPIs of a RPI stack. Correlations between APIs and RPIs were conducted with virtually no associated age errors using both tephrochronologic correlations and RPI minima. Using the stratigraphic positions of tephra layers in oxygen isotope stratigraphic records, we directly compared the RPIs and APIs reported from welded tuffs contemporaneously extruded with the tephra layers. In addition, RPI minima during geomagnetic reversals and excursions were compared with APIs corresponding to the reversals and excursions. The comparison of APIs and RPIs at these exact points allowed a reliable calibration of the RPI values. In this study, we applied the Tsunakawa-Shaw method to 21 welded tuffs to increase API dataset. We obtained mean paleointensities for 16 of the 21 welded tuffs. Since eight of the 16 welded tuff units were correlated with the oxygen isotope stratigraphy, they can be added to the API data used in the correlation procedure. Combining these API data with the reported data, we correlated API data with RPIs from the PISO-1500 stack and SINT-800 stack. For 13 correlation points, RPIs of the PISO-1500 stack showed a linear relationship with virtual axial dipole moments (VADMs) calculated from the APIs, indicating that the PISO-1500 stack has a linear relation to the axial dipole moment. On the other hand, RPIs from the SINT-800 stack has a trend with VADMs and the correlation coefficient is lower than that of the PISO-1500 stack. The correlation procedure with increased API data can contribute to constraining the relation between RPI of a RPI stack and API and calibrating a RPI stack to absolute values.

キーワード: 絶対古地磁気強度, 相対古地磁気強度, テフラ, 酸素同位体比層序, 溶結凝灰岩

Keywords: absolute paleointensity, relative paleointensity, tephra, oxygen isotope stratigraphy, welded tuff

## Rock magnetic study of the North Atlantic sediment during late Pliocene and early Pleistocene

佐藤 雅彦<sup>1\*</sup>; 大野 正夫<sup>1</sup>; 林 辰弥<sup>2</sup>; 桑原 義博<sup>1</sup>; 宮川 千鶴<sup>1</sup>; 藤田 周<sup>1</sup>; 北 逸郎<sup>1</sup>

SATO, Masahiko<sup>1\*</sup>; OHNO, Masao<sup>1</sup>; HAYASHI, Tatsuya<sup>2</sup>; KUWAHARA, Yoshihiro<sup>1</sup>; MIYAGAWA, Chizuru<sup>1</sup>; FUJITA, Shu<sup>1</sup>; KITA, Itsuro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>御船町恐竜博物館

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Mifune Dinosaur Museum

As the ocean is a major component in the climatic system, it is crucial for palaeoclimatic study to understand the past evolution of the thermohaline circulation. The North Atlantic Ocean is one of the most important sea areas because newly formed deep water mass is redistributed to the global ocean from there (Broecker et al., 1991). In order to recover the past change in deep ocean circulation at the North Atlantic Ocean, a variety of proxies have been studied. However, the change during Pleistocene and Pliocene is still poorly understood.

In this study we conducted rock magnetic measurement of deep-sea sediments recovered from IODP Site U1314 on the Gardar Drift, to investigate the past change in bottom current flows at the North Atlantic Ocean. Since a coercivity of magnetic mineral varies sensitively with its state such as chemical composition, grain size, grain shape, stress, and so on, coercivity spectra can be used as a proxy for the constituent spectra of the sediment.

The samples were collected at 16 - 50 cm resolution from 199.3 to 262.5 mcd of the core, which corresponds to the age between 2.22 and 2.75 Ma according to the age model by Hayashi et al. (2010). Rock magnetic properties were measured for these samples using a MicroMag 2900 Alternating Gradient Magnetometer. The isothermal remanent magnetization (IRM) acquisition curve was obtained by the application of stepwise-increasing uniaxial fields to the sample at 30 steps from 1 mT to 1 T. The ratio of IRM acquired in a back-field of 0.1 T to that in a forward-field of 1 T (S-ratio) was also measured for all samples.

In order to reveal constituents of the sediment, decomposition of coercivity spectra were conducted. The IRM acquisition curve was normalized by the IRM intensity at 1 T and then the first derivative of the curve was calculated with respect to log<sub>10</sub> field (hereafter referred to as IRM gradient curve). The least square fit was performed so as to decompose the IRM gradient curve into linear combination of two end-members. Two end-member components were calculated by averaging the IRM gradient curves of selected samples. Samples with low S-ratio (<0.57) and younger than 2.4 Ma were chosen for component 1. Samples with high S-ratio (>0.88) and during MIS100, which were associated with the ice rafted debris, were chosen for component 2. These components were distinctly different from each other; coercivity distribution of component 1 was magnetically harder than that of component 2.

In consequence of the decomposition, the fitting error was significantly small for all samples, indicating that North Atlantic sediments in the Gardar Drift during late Pliocene and early Pleistocene are explained by mixing of two end-member components. The fraction of two components periodically changes with time and agrees well with the LR04  $\delta^{18}\text{O}_{\text{benthic}}$  stack (Lisiecki and Raymo, 2005): the high-coercivity component dominated during interglacial periods, and the low-coercivity component dominated during glacial periods.

On the basis of the elemental ratio of potassium to titanium (K/Ti), Grutzner and Higgins (2010) reported change in proportion of sources of sediment at Site U1314 during the last 1.1 Ma. They demonstrated that Ti-rich basaltic material transported by the Iceland-Scotland Overflow Water and K-rich particle (continental rock like) derived from the other source dominated during interglacial periods and glacial periods, respectively. Our result is consistent with their result because high-coercivity and low-coercivity components are interpreted as the fine-grain titanomagnetite of Icelandic sources and the coarse-grain magnetic mineral of continental sources, respectively. Therefore the change in fraction of two end-member components represents change in fraction of bottom currents, and the bottom current flow patterns similar to those during the last 1.1 Ma might prevail at the North Atlantic Ocean during late Pliocene and early Pleistocene.

Keywords: North Atlantic Ocean, Deep-sea Sediment, IRM acquisition curve, Bottom current flow

## 南鳥島周辺海域の高レアアース含有赤色粘土の磁気特性 Magnetic properties of REY rich red clay near Minami-Torishima in the Pacific Ocean

山崎 俊嗣<sup>1\*</sup>; 臼井 洋一<sup>2</sup>; 下野 貴也<sup>3</sup>  
YAMAZAKI, Toshitsugu<sup>1\*</sup>; USUI, Yoichi<sup>2</sup>; SHIMONO, Takaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科  
<sup>1</sup>AORI, University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>University of Tsukuba

Red clay accumulates slowly on the seafloor deeper than CCD in mid-latitudes. Paleooceanographic and paleomagnetic studies were limited so far because red clay does not yield microfossils that can be used for precise age estimation and sedimentation rates were extremely low, less than a few meters per million years. However, red clay has attracted interest since Kato et al. (2011) reported that red clay rich in REY (rare-earth elements and yttrium) distributes widely in the Pacific Ocean. In this paper, we present magnetic properties of red clay cores obtained from the seafloor near Minami-Torishima during the R/V Kairei KR13-02 cruise. From these cores, extremely high REY contents were reported (Fujimoto et al., 2013, JpGU; Suzuki et al., 2013, JpGU). We will discuss a possible relationship between REY content and magnetic properties.

It is known in red clay that magnetostratigraphy can be established back to only ~3 Ma, and this also holds for the KR13-02 cores. However, noisy but rather coherent inclinations were obtained throughout the cores even where polarity reversal patterns were obscure. Although a possibility that these directions are of magnetic overprint cannot be excluded, the observed inclinations are not much lower than that expected from the GAD model at the present latitude. This may suggest that the sediments including the intervals of high REY content are not very old, possibly Eocene to Oligocene or younger in age, and that they deposited in the northern latitudes not very far from the present sites. This result is not consistent with the idea that the high REY content is influence of hydrothermal activity along the East Pacific Rise. The cores showed a common magnetic susceptibility variation pattern, and a peak of REY content occurs just below an interval of high magnetic susceptibility. The REY peak coincides with a sharp upward decrease in the ratio of ARM to SIRM, which indicates an increase of the mean magnetic grain size and/or an increase in the proportion of detrital to biogenic magnetic mineral component. These results suggest that the increased REY concentration may have occurred in association with a paleooceanographic event.

Keywords: red clay, REY, rock magnetism, environmental magnetism, Pacific, Minami-Torishima

## パルス強磁場中の磁化過程高速測定システムとその岩石磁気への応用 A method for measuring rapid magnetization change in high field using a pulse magnetizer: A new rock magnetic approach

小玉 一人<sup>1\*</sup>  
KODAMA, Kazuto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 高知大学海洋コア総合研究センター

<sup>1</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

簡便に強磁場を発生できるパルス磁化器 (pulse magnetizer) は、IRM 着磁装置として広く岩石磁気研究に用いられている。いくつかの市販品があるが、それらの発生磁場の形状は、やや非対称な半周期正弦波形でその幅は 10ms 程度である。本研究では、このパルス継続時間中の岩石試料の磁化変化を高速かつ高精度に測定するための試作システムを開発した。いくつかの自然試料を測定した結果、これまで VSM や IRM 測定では見られなかった新たな岩石磁気的知見を得ることができた。

本システムは、パルス磁化器として IM-10-30 (ASC Scientific 社製、2" コイル装着) を利用し、このコイル空間中に新開発の差動型コイルペア等を含む磁化検知コイルシステムを設置した。パルス磁場信号と試料による誘導磁場信号は、パルス磁場をトリガーとして高速デジタルオシロスコープ (Agilent MSO9104 2GHz) に記録し、Windows PC に取り込んで信号処理・解析を行った。校正は、常磁性塩 (酸化ガドリニウム) とニッケル粉末を用いた。自然試料として、伊豆大島や桜島の火山岩、一部の古土壌や火山灰などを測定した。弱磁化試料では、単発の測定結果にノイズが目立つが、複数回の繰り返し測定結果の重ね合わせによって S/N 比の向上を図ることができる。1 回の測定・解析が数秒程度で完了することが、本システムの最大のメリットである。一部の火山岩からは、VSM による磁化曲線 (ヒステリシス) では見られない、ごく短時間 (<1 ms) の磁化変化が観測された。これら時間領域の測定結果を、交流磁化率による周波数領域での測定結果と比較・対照することにより、磁性粒子のサイズや磁区構造を特定するための新たな岩石磁気学的手法を提案する。

キーワード: 岩石磁気, パルス磁場, 磁気ヒステリシス

Keywords: rock magnetism, pulse magnetic field, magnetic hysteresis

## 阿蘇火山中央火口丘群における火山岩・テフラの古地磁気学的研究 Paleomagnetic study of the Holocene volcanic rocks and tephra from post-caldera central cones of Aso Volcano

阿比留 拓哉<sup>1</sup>; 渋谷 秀敏<sup>2\*</sup>; 望月 伸竜<sup>3</sup>; 弥頭 隆典<sup>2</sup>; 宮縁 育夫<sup>4</sup>

ABIRU, Takuya<sup>1</sup>; SHIBUYA, Hidetoshi<sup>2\*</sup>; MOCHIZUKI, Nobutatsu<sup>3</sup>; YATO, Takanori<sup>2</sup>; MIYABUCHI, Yasuo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学理学部, <sup>2</sup> 熊本大学自然科学研究科, <sup>3</sup> 熊本大学大学院先導機構, <sup>4</sup> 熊本大学教育学部

<sup>1</sup>Faculty of Science, Kumamoto University, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Kumamoto University, <sup>3</sup>Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University, <sup>4</sup>Faculty of Education, Kumamoto University

本研究では阿蘇火山の火山活動史研究に利用できる基礎データを得ることを念頭に、阿蘇火山中央火口丘群の完新世火山岩・テフラの古地磁気学的研究を進めている。これまでに火山岩7ユニットにおいて25サイトをもうけて定方位サンプリングを行った。全25サイトのうち19サイトからは95%信頼限界が5度以下の精度の良い平均方位(古地磁気方位)が得られた。その結果によれば、火山地質図において1枚に区分されていた杵島岳溶岩・往生岳溶岩・中岳新期溶岩には、形成時期が数十~数百年以上離れた複数回の溶岩流が含まれている。また、上米塚スコリア・杵島岳溶岩の2サイト・往生岳溶岩の2サイトから得られた平均方位は95%信頼限界の範囲で一致した。この古地磁気方位の一致は、複数の火口から同時期(数十年以内)にこれらの溶岩流が流下した可能性を示唆する。以上の火山岩の古地磁気方位測定に加えて、本研究では、中岳の北北東4kmのテフラ層(宮縁・渡辺, 1997)の測定も進めている。火山灰の残留磁化方位は同時に噴出した溶結凝灰岩の熱残留磁化方位と一致することから、火山灰は堆積直後の地球磁場を記録すると報告されている(Reynolds, 1979; Hayahida et al., 1996; 中島・藤井, 1998; Fujii et al., 2001)。自作のサンプリングツールを用いてテフラ層の22層準から定方位試料を採取し、段階交流消磁によって特徴的残留磁化の検出を行った。その結果、22層準中17層準で95%信頼限界が5度以下の精度の良い平均方位が得られた。これらの平均方位を古地磁気方位とすることで、形成時間やテフラ層序と溶岩層序の対比を検討した。その結果、N6層の大部分、N5層、N4層からは同じ古地磁気方位を得たことから、これらのテフラ層は短期間(数十年間)に形成したことが示唆される。また、テフラから得た古地磁気方位と溶岩から得た古地磁気方位が一致するものがあり、これらの火山噴出物が同時期に形成したことが示唆された。

キーワード: 阿蘇火山, 古地磁気方位, 火山岩, テフラ

Keywords: Aso Volcano, paleomagnetic direction, volcanic rock, tephra



## 秋田県一ノ目潟のピストン・コア堆積物から得られた過去7000年間の古地磁気永年変化の記録 Paleomagnetic secular variation record for the last 7000 years observed in piston cores from the Ichinomegata Maar

安楽 和央<sup>1\*</sup>; 林田 明<sup>2</sup>; 原口 強<sup>3</sup>; 山田 和芳<sup>4</sup>; 篠塚 良嗣<sup>5</sup>; 五反田 克也<sup>6</sup>; 米延 仁志<sup>7</sup>  
ANRAKU, Kazuhiro<sup>1\*</sup>; HAYASHIDA, Akira<sup>2</sup>; HARAGUCHI, Tsuyoshi<sup>3</sup>; YAMADA, Kazuyoshi<sup>4</sup>; SHINOZUKA, Yoshitsugu<sup>5</sup>  
; GOTANDA, Katsuya<sup>6</sup>; YONENOBU, Hitoshi<sup>7</sup>

<sup>1</sup>同志社大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup>同志社大学理工学部環境システム学科, <sup>3</sup>大阪市立大学大学院理学研究科, <sup>4</sup>早稲田大学人間科学学術院, <sup>5</sup>北海道大学大学院地球環境科学研究科, <sup>6</sup>千葉商科大学政策情報学部, <sup>7</sup>鳴門教育大学大学院学校教育研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, <sup>2</sup>Department of Environmental Systems Science, Doshisha University, <sup>3</sup>Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, <sup>4</sup>School of Human Sciences, Waseda University, <sup>5</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, <sup>6</sup>Faculty of Polycy Informatics, Chiba University of Commerce, <sup>7</sup>Graduate School of Education, Naruto University of Education

秋田県男鹿半島に位置する一ノ目潟マールでは2006年にシンウォール・コア(IMG06)が採取され、Uチャンネル試料の残留磁化測定によって完新世の古地磁気永年変化(PSV)の記録が得られている。本研究では、2013年に湖の中央部で2本のピストン・コア(IMG13P-1およびIMG13P-2)を採取し、7ccキューブ試料について初磁化率( $\kappa$ )と磁化率異方性(AMS)の測定、自然残留磁化(NRM)の段階交流消磁を行った。まず、初磁化率の変動と岩相変化をもとにIMG06とピストン・コアの対比を行った結果、IMG13P-1とIMG13P-2は過去約7000年をカバーしていることが明らかとなった。NRMの段階交流消磁では、ほぼ全ての層準で強度の大きいNRMが原点に向かって直線的に減衰することが確認され、主成分解析によって各試料の磁化方位を決定することができた。ただし、AMS楕円体の最小軸の伏角 $K_{min}$ と形状パラメータ $q$ の値にもとづき、初生的な堆積構造を保持していないと推定された一部分のデータを排除した。コア採取時に堆積物が乱されたと考えられる部分を除き、残留磁化の伏角および相対的な偏角の変動はIMG13P-1とIMG13P-2、およびIMG06の間でよく一致していた。このことから、一ノ目潟の堆積物は古地磁気永年変化の研究に適したものである。さらに、一ノ目潟の記録は西日本の考古地磁気永年変化曲線(Shibuya, 1980)、琵琶湖のPSV(Ali et al., 1999)とも類似しており、日本の古地磁気永年変化の研究に重要な役割を果たすと考えられる。

キーワード: 古地磁気永年変化, 残留磁化, 初磁化率, 一ノ目潟

Keywords: Paleomagnetic secular variation, remanent magnetization, magnetic susceptibility, Ichinomegata Maar

## 三瓶日影山溶岩の熱磁気特性: Laschamp エクスカーションの探索 Thermomagnetic characteristics in the Hikageyama lava: searching a paleomagnetic record of the Laschamp excursion

西山 洋人<sup>1\*</sup>; 林田 明<sup>2</sup>; 沢田 順弘<sup>3</sup>; 檀原 徹<sup>4</sup>; 河野 重範<sup>5</sup>  
NISHIYAMA, Hiroto<sup>1\*</sup>; HAYASHIDA, Akira<sup>2</sup>; SAWADA, Yoshihiro<sup>3</sup>; DANHARA, Tohru<sup>4</sup>; KAWANO, Shigenori<sup>5</sup>

<sup>1</sup>同志社大・院・理工学研究科・数理環境科学, <sup>2</sup>同志社大学理工学部環境システム学科, <sup>3</sup>島根大学, <sup>4</sup>(株)京都フィッション・トラック, <sup>5</sup>栃木県立博物館

<sup>1</sup>Sci. Environ. Math. Model., Grad. Sci.&Engi., <sup>2</sup>Dept. Environ. Sys. Sci., Doshisha Univ., <sup>3</sup>Shimane University, <sup>4</sup>Kyoto Fission-Track Co., Ltd., <sup>5</sup>Tochigi Prefectural Museum

2013年の連合大会では、三瓶日影山溶岩における古地磁気学測定の結果を報告した。9地点のなかから日影山東部の4地点で、一致した伏角が浅く偏角が東寄りの方位が確認された。また、これらのサイトの仮想地磁気極(VGP)は地理的北極からずれたアメリカ合衆国北東部約50°N 100°Wであった。これらより、Laschamp エクスカーションの期間に噴出した可能性のある三瓶日影山溶岩が、特異な地球磁場を記録したものであると推定した。これに9地点の段階熱消磁を加えると、上記の4地点で同様の一致した方位が得られた。

そして、熱磁気分析を行ったところ、ほとんどのサンプルは1相のマグネタイトとみられるキュリー温度を示した。さらに、上記の日影山東部の4地点は2つに分類できた。まず、HKG-9, 10は、1相のマグネタイトとみられるキュリー温度を示した。次に、HKG-11, 12は、2相のチタノヘマタイトとヘマタイトとみられるキュリー温度を示した。段階熱消磁の結果より、前者は2つまたは3つの残留磁化成分をもつサンプルであった。後者のサンプルは残留磁化成分が1つであったが、既報である交流磁場のピーク100 mTまででは消磁できないかたい残留磁化であった。これら残留磁化成分と熱磁気分析結果にもとづいて、三瓶日影山溶岩における残留磁化方位の議論を報告する。

キーワード: 岩石磁気, 三瓶日影山溶岩, 地磁気エクスカーション, Laschamp エクスカーション  
Keywords: Rock magnetism, Hikageyama lava, Geomagnetic excursion, Laschamp excursion

## ダイナモモデルにおけるコア-マントル電磁結合と LOD 変動 Electromagnetic core-mantle coupling and length-of-day variation in numerical dynamo models

高橋 太<sup>1\*</sup>  
TAKAHASHI, Futoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学  
<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

Exchange of angular momentum between the core and the mantle is likely to be responsible for the decadal variations in the length-of-day (LOD). If the changes in the angular momentum of the mantle are balanced by the opposite changes of the core, some coupling mechanisms between the core and the mantle should be invoked. Here we examine the electromagnetic (EM) coupling as a possible mechanism of angular momentum exchange. We use numerical dynamo simulations to investigate the mechanism to explain the LOD variations with respect to time including the decadal time scale. In numerical dynamo models, we impose a uniformly electrically conducting layer of about 200 km-thick on the mantle side of the core-mantle boundary corresponding to the D'' layer. The electric current associated with the dynamo-generated magnetic field can flow in the conducting layer and the Lorentz force can yield a net EM torque with respect to the rotation axis. The electrical conductivity of the layer is varied from 200 - 500 S/m in dynamo models. The LOD variations can put some feedback effects on flows in the core through the changes in the angular velocity, which emerge as a change in the effective Ekman number and the Poincare force. Influences of such a feedback are also included in numerical models. The Ekman number adopted as a nominal value is  $10^{-4}$ . We have obtained the EM torque resulting in typical angular velocity variation of the order of  $10^{-6}$  relative to the nominal angular velocity in a time scale of the magnetic diffusion time. Much smaller changes in shorter time scale are also observed. Based on the findings in the present study, it is suggested that the EM core-mantle coupling in a likely range of the conductance within the D'' layer is a promising mechanism to yield LOD variations in decadal to longer time scale.

キーワード: ダイナモ, コア-マントル電磁結合, LOD 変動, D'' 層  
Keywords: dynamo, electromagnetic core-mantle coupling, LOD variation, D'' layer

## ジュール加熱により引き起こされる地球内核中の流れに対する表面変位の影響 Influence of surface displacement on fluid motions induced by Joule heating in the inner core of the Earth

竹広 真一<sup>1\*</sup>  
TAKEHIRO, Shin-ichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学数理解析研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University

地震波観測により示された地球内核の弾性的性質の異方性は、内核の固化における固体組織の整列や内核中の流体運動による塑性変形による組織の整列によるものと考えられてきている。内核の固化では異方性の深さ分布が説明できない一方で、これまでに考察されたさまざまな要因による内核中の流れでは異方性を生み出すに十分なほど決定的ではない。Takehiro (2011) では、内核中の流れを引き起こす要因として、内核外核境界で与えられた磁場が内核中へ貫入し発生するジュール熱を提案した。具体的に、球面調和函数の全波数 2, 方位角波数 0 のトロイダル磁場成分を内核外核境界において与えて計算したところ、赤道域で下降流、極域で上昇流の流れのパターンが得られた。この流れ場は外核との質量交換を伴っており、内核外核境界 (ICB) にて 0 でない速度の動径成分が存在している。このような流れ場が得られた要因は、ICB での境界条件として応力の法線成分が一定であることを用いていることにあり、暗に ICB を通過する物質の相変化が瞬間的であることを仮定している。しかしながら、実際には物質の相変化の速度は有限であり、もしも十分に相変化の速度が遅ければ、流れの動径成分の存在により ICB が変形し凹凸が発達することになるだろう。このような表面変位が存在すると、内外核間の密度差による浮力が働き、内核中の流れを妨げる可能性がある。

そこで本研究では、水平不均一なジュール加熱により引き起こされる地球内核中の流れに対する表面変位の影響を考察し、どの程度の振幅の表面変位が発達し内核中の流れ場がどう変形されるのかを吟味した。

内核外核境界における磁場分布と表面変位分布を与えたときのジュール熱により引き起こされる定常な速度場を数値的に求めた。用いた方程式は磁場の拡散の式、ブシネスク流体の運動方程式および熱の式である。境界条件は内核外核境界において応力の接線成分が 0 に加えて、温度擾乱が融点温度に等しいことと応力法線成分が表面変位による浮力とバランスする式を用いた。球面調和函数の全波数 2, 方位角波数 0, トロイダル磁場成分および表面変位を与え、地球内核中で予想されているパラメータを用いて計算したところ、ICB でのトロイダル磁場振幅が  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  T に応じて表面変位振幅が 0.14 – 14 m 程度で内核表面での速度動径成分が 0 となる結果が得られた。

これに対して、相変化の速度を見積もるために、ICB を通って出てくる固相の鉄を融かすに必要な熱 (あるいは ICB を通って入っていく液相の鉄を凝結させるに必要な熱) が外核中の速度場によって ICB 表面に輸送される熱とのバランスを考えた。ICB における表面変位は断熱温度と融解温度の温度差を生じ、これに伴う熱が外核中の小スケールの速度場によって ICB 表面に輸送されると考えた。

この熱バランスによる式と、上の数値計算結果で得られた表面変位振幅と速度動径成分の関係式を連立させることにより、平衡状態での表面変位振幅と速度動径成分振幅が定められる。外核中の小スケールの速度場の振幅が  $10^{-1}$  m/s 程度に速いときには変位の発達速度に対して相変化の速度が十分に大きく、ICB において  $8 \times 10^{-10}$  ~  $8 \times 10^{-12}$  m/s 程度の速度動径成分が存在し、表面変位振幅が 0.0001 – 0.01 m 程度となる。これに対して、外核中の小スケールの速度場の振幅が  $10^{-5}$  m/s 程度に遅いときには、相変化の速度に対して表面変位の発達速度が十分に速く、ICB における速度動径成分が 0 となり、表面変位が 0.14 – 14 m にまで発達する。

表面変位振幅が大きくなるにつれて、ICB における速度動径成分が小さくなり、ICB 直下に内部領域とは逆向きの流れが現れるようになる。しかし以前として内部領域の流れは表面変位によって妨げられることなく赤道から極へ向けての流れが存在している。このことは、内部領域の流れを定めるバランスが水平不均一のジュール加熱と移流による熱輸送との熱バランスによるものであり、力学的要因でないからである。一方、流れ場の応力の振幅は表面変位振幅が大きくなるにつれて内部領域よりも ICB 付近で大きくなってしまふ。このことは、地球内核の地震波速度異方性を説明するのに表面変位が大きい場合には整合的でないという結論に達する。地震波速度異方性が水平不均一なジュール加熱により引き起こされる地球内核中の流れに由来するのであれば、ICB での相変化の速度が十分に速く、表面変位が小さくならねばならない。

参考文献: Takehiro, S., 2011: Phys. Earth Planet. Inter., 184, 134–142.

キーワード: 地球内核異方性, 地球外核磁場, 地球外核流れ, 内核外核境界, 地球外核ダイナモ作用

Keywords: anisotropy of the Earth's inner core, magnetic fields in the Earth's outer core, flows in the Earth's outer core, inner core boundary of the Earth, dynamo action in the Earth's outer core

本州東部に分布する Znp-Ohta テフラの古地磁気と相対回転運動  
Paleomagnetism of the Znp-Ohta tephra in eastern Honshu: relative tectonic rotations at local and regional scales?

星 博幸<sup>1\*</sup>; 二村 昇<sup>2</sup>  
HOSHI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; FUTAMURA, Sho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 愛知教育大学, <sup>2</sup> 豊橋市立二川南小学校  
<sup>1</sup>Aichi University of Education, <sup>2</sup>Futagawa Minami Elementary School

We present paleomagnetic data suggesting relative tectonic rotations in eastern Honshu since 3.9 Ma. Samples were collected from a widespread ash bed, called the Znp-Ohta tephra, at three localities. One is the Tomioka locality located to the east of the Abukuma Mountains, where the ash bed (local name = SF4.5 tephra) was sampled at three sites. The other two are the Miyobara and Kohsaka localities on the Boso Peninsula, where the ash bed (local name = An85 tephra) was sampled at three sites at each locality. Stepwise demagnetization was performed on all specimens, and the principal component analysis was applied to the demagnetization data to extract characteristic remanent magnetization (ChRM) components. At Tomioka, site-mean ChRM directions were determined at all sites. They are tightly clustered after tilt correction and have a southerly direction of reverse polarity. Interestingly, the direction is deflected significantly counterclockwise with respect to the direction of the correlative tephra at Chita in central Honshu (Hoshi & Deguchi, 2013). At Miyobara and Kohsaka, the locality-mean ChRM directions are significantly different to each other. The paleodeclination of Miyobara is similar to that of Tomioka, and the paleodeclination of Kohsaka is almost identical to that of Chita. The difference in paleodeclination between Miyobara and Kohsaka seems to be related to the difference in the general geological trend of Neogene strata on the Boso Peninsula, suggesting relative rotation on the peninsula. Our results imply that in eastern Honshu, relative rotations have taken place at local and regional scales since the Pliocene.

キーワード: 本州東部, 古地磁気, 鮮新世, 相対回転, テクトニクス, Znp-Ohta テフラ  
Keywords: eastern Honshu, paleomagnetism, Pliocene, relative rotation, tectonics, Znp-Ohta tephra

## GPS から推定される過去の大陸形状の復元 Past continental shape inferred from GPS data

河合 啓悟<sup>2</sup>; 加藤 忠義<sup>2</sup>; 原田 靖<sup>1\*</sup>

KAWAI, Keigo<sup>2</sup>; KATO, Tadayoshi<sup>2</sup>; HARADA, Yasushi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東海大学 海洋学部 海洋地球科学科, <sup>2</sup> 東海大学海洋学部海洋資源学科

<sup>1</sup>Department of Marine and Earth Science, Tokai University, <sup>2</sup>Department of Marine Mineral Resources, Tokai University

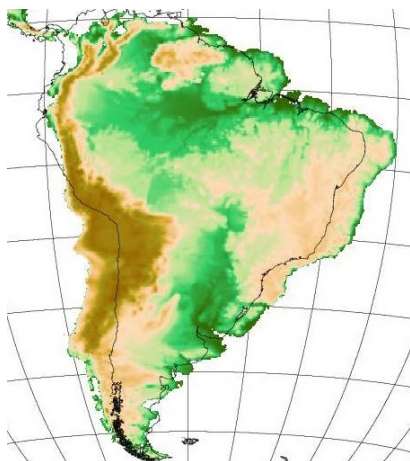
Kono et al.,1985 は古地磁気学的解析から第三紀前期にはアンデス山脈は現在の様に逆くの字型に曲がっていたのでは無く、南北に真直ぐな形状であったことを示した。本研究では現在観測されている GPS のデータによる大陸の内部変形運動を過去に外挿して、この様なアンデス山脈の形状が復元し得るかどうかが検証した。

GPS を含む宇宙測地技術から得られるプレート運動ベクトルが、NUVEL-1A 等の数百万年間の平均のプレート運動と比較し得るかどうかは 1990 年代から議論されており (例えば, Gordon,1993), 両者は良い一致を示すことが分かっている。本研究では, 加藤ら 2012(連合大会) が考案した GPS データから過去や未来の地形形状を推定計算する方法を用いて, 南米大陸の過去の形状を計算したところ約 50Ma の形状ではアンデス山脈が南北に真直ぐな形状に復元され, Kono et al.,1985 の推定する形状に良く一致した (下図)。この結果から数十年スケールの GPS で観測されるプレート内部変形は数千万年スケールの大陸の変形運動と比較し得ることを強く示唆している。またこの計算方法は汎用性が高いので古地磁気データと GPS データがある地域ならばどこでも外挿計算による比較が可能である。

本研究ではさらに 150Ma の Gondwana 大陸の形成時期まで外挿計算を行ったが, Wegener,1915 や Bullard et al.,1965 の行った様な南米大陸東海岸線とアフリカ大陸西海岸線の一致は, 悪くなる傾向がみられた。このことからこのような GPS データの外挿は数千万年程度が限界と考えられる。

キーワード: GPS, 過去の大陸形状, プレート内部変形

Keywords: GPS, Past continental shape, Deformation of plates



## フィリピン海プレートの運動にまつわる諸問題 Problems related to the past motion of the Philippine Sea Plate

高橋 雅紀<sup>1\*</sup>  
TAKAHASHI, Masaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質情報研究部門  
<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

プレートの過去の運動は、海洋底拡大軸を対称に形成された海洋底地磁気異常に基づく相対運動と、ホットスポットトラックによる絶対運動によって復元することができる。ところが、フィリピン海プレートにはホットスポットトラックが存在しないため、過去の運動を復元することができない。さらに周囲を海溝で囲まれているために、他のプレートとの相対運動も不明である。そこで、フィリピン海プレートの過去の運動は、フィリピン海プレート上の地層や岩石の古地磁気によって推定されてきた。すなわち、古地磁気偏角は回転運動を、古地磁気伏角は緯度方向の移動を表しているとして復元図が提案されてきた。しかしながら、古地磁気に基づくプレート運動の復元は、現実的には不可能であると考えられる。講演では、フィリピン海プレートの過去の運動にまつわる諸問題を整理する。

キーワード: テクトニクス, 古地磁気, フィリピン海プレート  
Keywords: tectonics, paleomagnetism, Philippine Sea Plate