

## 走査型 SQUID 顕微鏡システムの開発と初期測定結果 Development of scanning SQUID microscope and initial results

小田 啓邦<sup>1\*</sup>; 河合 淳<sup>2</sup>; 宮本 政和<sup>2</sup>; 宮城 磯治<sup>1</sup>; 山本 裕二<sup>3</sup>; 白井 洋一<sup>4</sup>; 白井 朗<sup>3</sup>; 中村 教博<sup>5</sup>  
ODA, Hirokuni<sup>1\*</sup>; KAWAI, Jun<sup>2</sup>; MIYAMOTO, Masakazu<sup>2</sup>; MIYAGI, Isoji<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Yuhji<sup>3</sup>;  
USUI, Yoichi<sup>4</sup>; USUI, Akira<sup>3</sup>; NAKAMURA, Norihiro<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 金沢工業大学, <sup>3</sup> 高知大学, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Kanazawa Institute of Technology, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>Tohoku University

Scanning superconducting quantum interference device (SQUID) microscope (SSM) is a useful tool to image very weak magnetic fields with high spatial resolution. Fong et al. (2005) developed an SSM with a monolithic SQUID and applied to scan magnetic field produced by geological thin sections. Oda et al. (2011) succeeded in imaging of the magnetic stripes of hydrogenetic ferromanganese crusts using the SSM at Vanderbilt University developed by Fong et al. (2005) and could provide age model by correlating to the standard geomagnetic polarity timescale. In this project, we have developed an SSM to image vertical magnetic fields over thin sections of various rock samples for geological studies. We designed a hollow-structured cryostat to realize reliable SQUID assembly and repeatable adjustment of the vacuum separation from the sample. The SQUID based on niobium process is a single-washer magnetometer with the pickup area of 200 x 200 square micrometers and the size of the chip is 1 mm x 1mm. The SQUID chip is mounted on a conical sapphire rod and electrically connected to the non-magnetic electrodes with silver paste. The electrodes are patterned on the surface of the sapphire rod using metalization technique. The sapphire rod is connected to a copper block, which is thermally anchored to the liquid helium reservoir with copper bundle wires. The copper block is connected to a rigid shaft through a flexure spring, and the shaft extends through the hollow of the cryostat to the spindle placed on the top flange at room temperature. A 40-micrometer thick sapphire window separating the sample from the vacuum space can be adjusted toward the SQUID using a bellows structure. With this mechanism, we have achieved the separation of ~250 micrometers between the SQUID and the sample, so far. The field resolution of the SQUID was 1.1 pT/rtHz at 100 Hz in a flux locked loop (FLL) operation. In this talk, we will introduce the development of our SSM project and describe the performance of the system. Further, we will present some initial mapping results conducted on various geological samples, such as volcanic rocks, sediments, etc. The project is supported by JSPS KAKENHI Grant Number 25247073.

キーワード: 走査型 SQUID 顕微鏡, 残留磁化, 岩石薄片試料, 液体ヘリウム, 磁気シールド, XY ステージ

Keywords: scanning SQUID microscope, remanent magnetization, geological thin section, liquid He, magnetic shield, XY scanning stage

## 磁性体薄膜ドットを用いた SQUID 顕微鏡計測における位置決め手法の提案 Proposal of positioning method using a magnetized thin-film dot for scanning SQUID microscopy

河合 淳<sup>1\*</sup>; 小田 啓邦<sup>2</sup>; 宮城 磯治<sup>2</sup>  
KAWAI, Jun<sup>1\*</sup>; ODA, Hirokuni<sup>2</sup>; MIYAGI, Isoji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 金沢工業大学, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所  
<sup>1</sup>Kanazawa Institute of Technology, <sup>2</sup>Geological Survey of Japan, AIST

We have developed a scanning superconducting quantum interference device (SQUID) microscope (SSM) for imaging magnetic field distribution of geological rock samples. The rock sample, which is processed into a thin section and glued on a glass with non-magnetic resin, is placed on a XY table under the SQUID microscope, and is scanned. The distance between the SQUID and the sample can be calibrated with magnetic field generated with a dc-current applied to a thin and long wire. However, the position of the sample for the SQUID must be determined in another way. Positioning the magnetic field image for the structure of the sample is necessary for analysis of the magnetic field distribution. We propose a positioning method using a thin-film magnetized circular dot as a magnetic dipole marker.

Considering expected special resolution of about 200  $\mu\text{m}$  or smaller, we designed four kinds of single circular dots with different diameter, which are 10  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 75  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ . We adopted FeCo as a material for the dot. A 500-nm-thick FeCo layer was deposited on a silicon substrate with DC-sputtering and was formed into circular dots with lift-off process. After forming the dots, the Si substrate was diced into square chips with the size of 3.5 mm  $\times$  3.5 mm, where each chip has a single dot. Scanning the 25- $\mu\text{m}$  dot with the SQUID microscope, we obtained dipole-like field of  $\sim 10$  nT, which is large enough as a magnetic maker.

We plan to attach this chip with the dot adjacent to the sample on the sample holder. Finally, we can superimpose the magnetic field pattern on an optical image of the sample.

キーワード: スクイッド顕微鏡, 岩石薄片試料, 位置決め, 磁性ドット, 薄膜

Keywords: SQUID microscope, geological thin section, positioning, magnetized dot, thin film

**Deconvolution of continuous paleomagnetic data: Implementation of convenient graphical software based on optimization**  
**Deconvolution of continuous paleomagnetic data: Implementation of convenient graphical software based on optimization**

Xuan Chuang<sup>1\*</sup>; 小田 啓邦<sup>2</sup>  
XUAN, Chuang<sup>1\*</sup>; ODA, Hirokuni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> サウザンプトン大学, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所  
<sup>1</sup>University of Southampton, <sup>2</sup>Geological Survey of Japan, AIST

Deconvolution effectively overcomes the convolution effect of sensor response and improves the resolution of continuous paleomagnetic data acquired on pass-through superconducting rock magnetometers (SRM). However, the lack of an easy-to-use deconvolution tool has hindered the application of deconvolution for continuous paleomagnetic measurements. Here, we present MATLAB software UDECON with graphical user interface, as a convenient tool to perform realistically optimized deconvolution based on Akaike's Bayesian Information Criterion minimization method (Oda and Xuan, 2014). UDECON directly reads the original paleomagnetic measurement file, and allows the user to view, compare, and save paleomagnetic data before and after the deconvolution. We demonstrate that optimized deconvolution using UDECON can greatly help revealing detailed paleomagnetic information such as excursions that could be smoothed out during pass-through measurements. The application of UDECON to the vast amount of existing and future pass-through paleomagnetic and rock magnetic measurements on sediment archives recovered especially through the ocean drilling programs will contribute to our understanding of the geodynamo and paleo-environment by providing more detailed records of geomagnetic and environmental change through reliable deconvolution.

キーワード: superconducting rock magnetometer, deconvolution, sensor response, u-channel sample, ABIC minimization, MATLAB software

Keywords: superconducting rock magnetometer, deconvolution, sensor response, u-channel sample, ABIC minimization, MATLAB software

## 動的磁化の時間/周波数領域測定と岩石磁気への応用 Measurement of dynamic magnetization in time domain and frequency domain

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

交流磁化率の広帯域周波数スペクトルから、SP/SD境界以下の微細磁性粒子のサイズ分布を推定する方法を、典型的な気候変動研究試料の中国黄土試料に適用したところ、古環境変化に対応した粒子サイズ変化を復元することができた(Kodama et al., 2014)。同様の方法で火山岩試料を測定した結果、SPからMDにわたる磁性鉱物のサイズ分布や磁区構造を反映した周波数スペクトルが得られた(Kodama, 2013)。これらのパターンは基本的にデバイ型周波数スペクトルで表され、そのパターンは磁性粒子集団の諸性質(サイズ・保磁力・磁区構造など)を反映すると考えられる。一般に、このような周波数スペクトルを示す物理系は、時間領域でも測定することができる。例えば、試料に強いパルス磁場をかけて励起した磁化が自由減衰する過程を測定すればよい。岩石試料の場合、この減衰の時定数は磁化緩和時間に対応すると考えられる。線形応答理論によれば、時間領域のパルス応答と周波数領域のスペクトルは、フーリエ変換によって相互に変換可能である。したがって、磁化の自由減衰データから周波数スペクトルを計算し、逆に磁化率周波数スペクトルから磁場遮断後の自由減衰磁化を計算することもできる。本研究では、パルス後の自由減衰磁化を測定するために開発した装置(Kodama, 2015)を用いて代表的な火山岩試料を測定し、その結果を離散フーリエ変換することによって間接的に周波数スペクトルを求めた。この”パルス法”ならば、一回の測定に約 $10^{-3}$  sec、多数回繰り返してもスペクトル測定よりはるかに測定時間は短い。こうして得られたスペクトルのパターンや分散から、磁性粒子の磁区構造・サイズ分布・磁壁移動などを推定する方法を提案する。さらに、スペクトル法とパルス法それぞれの長所・短所、岩石磁気への応用などを議論する。

キーワード: 動的磁化, 岩石磁気, 磁気緩和, 周波数スペクトル, フーリエ変換

Keywords: dynamic magnetization, rock magnetism, magnetic relaxation, frequency spectrum, Fourier transform

## 御嶽山2014年噴出物の岩石磁気学的特徴 Rock magnetic properties of the September 2014 eruptive products from Ontake volcano, Japan

齋藤 武士<sup>1\*</sup>; 片岡 香子<sup>2</sup>; 松元 高峰<sup>2</sup>; 佐々木 明彦<sup>3</sup>  
SAITO, Takeshi<sup>1\*</sup>; KATAOKA, Kyoko S.<sup>2</sup>; MATSUMOTO, Takane<sup>2</sup>; SASAKI, Akihiko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 信州大学理学部地質科学科, <sup>2</sup> 新潟大学災害・復興科学研究所, <sup>3</sup> 信州大学山岳科学研究所

<sup>1</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, <sup>2</sup>Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, <sup>3</sup>Institute of Mountain Science, Shinshu University

2014年9月27日に御嶽山が噴火し、多数の犠牲者を出す戦後最悪の火山災害となった。その後現在(2015年2月初頭)に至るまで、活動は低下しつつも噴気活動や地震活動が継続しており、入山規制が解除されるには至っていない(噴火警戒レベル3が継続中)。我々は9月27日の噴火プロセスと、その後現在まで継続している山麓への堆積物の移動プロセスを解明することを目的に、特に南麓の濁川に注目して研究を進めている。本発表では、今回の噴火で噴出した火山灰試料の磁性および磁性鉱物について報告する。

熱磁気分析の結果、今回の噴出物は特徴的な熱磁気曲線を描くことが分かった。磁化が弱く、400℃までにはほぼ半減するが、400℃を超えてから急激に磁化が増加し、約470℃で初期値の約5倍に達する。その後600℃までの間に急減してほぼ最小値を取る。冷却曲線は(なお実験は空気中で行っている)、加熱曲線とは全く異なって約580℃のキュリー点を示し、magnetiteへの変質を示唆するが、実験終了後の磁化は実験前の2倍以下とあまり増加していない。鏡下で観察すると試料中にはpyriteが多く見られ、400℃で変質した鉱物はpyriteと考えられる。すでに報告されているように、今回の御嶽山の火山灰には多くのpyriteが確認されており(例えば池端ほか, 2014, 火山学会; 井村ほか, 2014, 火山学会), 200℃以上の酸性熱水による変質で形成されたことが示唆されている(宮城ほか, 2014, 火山学会)。また磁化が急増している温度範囲内の約420℃で加熱を停止して冷却した結果、磁化は10倍以上に増加した。約400℃でpyriteがmagnetiteへ変化したと考えられるが、このことから、今回の噴出物は約400℃以上には加熱されていないことが示唆される。先行研究の結果と合わせれば、今回の噴出物は200℃以上かつ400℃以下の温度条件下に存在していたものと考えられる。

また、濁川で観察された灰色の火山灰層の上下の堆積物も特徴的なシグナルを示した。噴火前の堆積物は、磁化強度が弱くなく、約550℃のキュリー点を示した。曲線はreversibleであり、主な磁性鉱物は御嶽山噴出物中のtitanomagnetiteと考えられる。一方、今回の噴出物の直上から採取したサンプルはピークが弱いながらも400℃のシグナルを示し、微量ながら今回の噴火で堆積した火山灰が、下流へ運搬され再堆積していると考えられる。この特徴に注目すれば、今回の火山灰がどの程度の時間をかけてどの程度下流まで運搬されていくか追跡できると考える。

磁気ヒステリシス測定の結果、今回の噴出物はDay-plot上でそれほど分散せず、PSD領域の右下にプロットされた。これまでに我々は、統合国際深海掘削計画(IODP)の第340次航海で採取された火山砕屑性混濁流堆積物の研究から、流れによる分級と淘汰の効果の違いが岩石磁気学的に捉えられることを明らかにしてきた(例えば齋藤・片岡, 2014, JPGU)。御嶽山麓に二次的に堆積した火山噴出物と海底に堆積した火山性砕屑性混濁流堆積物とは、運搬距離や堆積物のvolumeなどが大きく異なるが、どちらも流れによる効果で淘汰され、その結果、ある程度集中した磁気ヒステリシスパラメータを示したと考えられる。

キーワード: 御嶽山, 水蒸気噴火, 黄鉄鉱, 岩石磁気

Keywords: Ontake, phreatic eruption, pyrite, rock magnetism

## 岩石磁気と化学分析から明らかになった仙台湾堆積物の季節変動と津波の記録 Tsunami and seasonal variation records in Sendai Bay sediments revealed by rock magnetic and geochemical analyses

阿部 啓邦<sup>1</sup>; 川村 紀子<sup>2\*</sup>; 石川 尚人<sup>3</sup>  
ABE, Hirokuni<sup>1</sup>; KAWAMURA, Noriko<sup>2\*</sup>; ISHIKAWA, Naoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 海上保安庁 高松保安部, <sup>2</sup> 海上保安庁 海上保安大学校, <sup>3</sup> 京都大学大学院人間・環境学研究科

<sup>1</sup>Takamatsu Office, Japan Coast Guard, <sup>2</sup>Japan Coast Guard Academy, <sup>3</sup>Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

Coastal marine sediments along island arcs have records of the past disaster events like tsunamis and seasonal floods. In order to reconstruct those events from the coastal marine sediments, we need to distinguish between tsunami effects and seasonal variations. Tsunami was occurred in 11 March, 2011, off the Pacific coast of Tohoku by the Earthquake (M 9.0). The earthquake source was located off Sendai city and near the axis of the Japan trench. This study is aimed to sort both past events based on rock magnetic properties and geochemical analysis from the sediments taken in Sendai bay. The sediment samples were collected at five stations in Sendai bay at every season during 2002-2011. The sediment particle size is larger at the offshore stations. It suggests that fine sediment particles are transported by the bottom current. For measurements of carbon, nitrogen and sulfur amounts in the sediments, CHNS analyses were conducted. Results indicated that the amounts of those elements decrease toward offshore stations, and the changes of the values depend on the season in the inner bay. Rock magnetic properties (natural, anhysteretic, and isothermal remanent magnetization, magnetic susceptibility, remanent coercivity, and coercivity) of the sediments were measured. The values also show seasonal variations at the stations in the inner bay. For discriminations between tsunami effects and seasonal variations, we focused on the samples taken in June 2007, 2008, and 2011. The amounts of carbon and sulfur are large in the 2011 samples after the tsunami. Thermo-magnetometric results indicate the presence of magnetite and iron sulfide in all samples. Especially, the 2011 samples at the offshore stations under the bottom current are found to contain iron sulfide as a dominant magnetic mineral. It may be implied that iron combines sulfur after deposition and that are prevented from the transportation of the bottom current.

キーワード: 津波堆積物, 岩石磁気, C/N

Keywords: Tsunami deposit, rock magnetism, C/N

## 新生代の南太平洋赤色粘土の環境磁気学的研究 Environmental Rock-Magnetism of Cenozoic Red Clay in the South Pacific Gyre

下野 貴也<sup>1\*</sup>; 山崎 俊嗣<sup>2</sup>; 鈴木 勝彦<sup>3</sup>

SHIMONO, Takaya<sup>1\*</sup>; YAMAZAKI, Toshitsugu<sup>2</sup>; SUZUKI, Katsuhiko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>筑波大学生命環境科学研究科, <sup>2</sup>東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup>独立行政法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター  
<sup>1</sup>Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, <sup>3</sup>Research and Development Center for Submarine Resources, JAMSTEC

Red clay occupies about 40 % of the global ocean floor. Paleooceanographic and paleomagnetic studies of red clay 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. However, red clay could be useful for elucidating long-range environmental changes. Recently, red clay has attracted interest because of the discovery that red clay rich in  $\Sigma$ REY (rare-earth elements and yttrium) distributes widely in the Pacific Ocean. We conducted an environmental rock-magnetic study using the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Site U1365 cores (75.5 m long above ~125 Ma basement) taken at the western edge of the South Pacific Gyre (SPG) in order to investigate long-range climatic and paleooceanographic changes during the Cenozoic. This is the first environmental rock-magnetic study in the SPG ever.

Magnetostratigraphy could be established above ~6 meters below the seafloor (mbsf) (~5 Ma). Below ~6 mbsf, the ages of the Site U1365 cores were transferred from published ages of nearby Deep Sea Drilling Project (DSDP) Site 596, which is based mainly on a constant Cobalt flux model, by inter-core correlation using magnetic susceptibility and  $\Sigma$ REY variation patterns. On first-order reversal curve diagrams, a non-interacting single-domain magnetic component, which is a characteristic of biogenic magnetite, was recognized throughout the sediment column. The ratio of anhysteretic remanent magnetization (ARM) susceptibility to saturation isothermal remanent magnetization (IRM) ( $k_{ARM}/SIRM$ ), a proxy of the biogenic to terrigenous magnetic components, is high, in particular below ~8.0 mbsf (~35 Ma). In the results of IRM component analyses, the middle-coercivity (M) component likely carried by maghemite increased since ~35 Ma, whereas S ratios and  $k_{ARM}/SIRM$  values decreased. The increase of the M component accelerated after 5 Ma. These observations suggest increases of the input of terrigenous magnetic minerals, which is inferred to be transported as eolian dust. The Eocene/Oligocene boundary (~34 Ma) is known as the time of a major global cooling, and the increase of eolian dust supply in the South Pacific may have occurred since then. Northward shift of Australia to an arid region in middle latitudes should have also contributed to the increase of eolian dust supply. The second increase of eolian dust flux at ~5 Ma may have been caused by a further growth of the Antarctic glaciation at ~6 Ma.

キーワード: 赤色粘土, 環境磁気学, 南太平洋環流, 生物起源マグネタイト, 風成塵, 新生代

Keywords: red clay, environmental magnetism, South Pacific Gyre, biogenic magnetite, eolian dust, Cenozoic

## 多様な蛇紋岩の磁性：中央インド洋海嶺ヨコニワ産の海底試料による制約 Variation in magnetic properties of serpentinized peridotites from Yokoniwa Rise, Central Indian Ridge

藤井 昌和<sup>1\*</sup>; 沖野 郷子<sup>1</sup>; 佐藤 暢<sup>2</sup>; 中村 謙太郎<sup>3</sup>; 山崎 俊嗣<sup>1</sup>

FUJII, Masakazu<sup>1\*</sup>; OKINO, Kyoko<sup>1</sup>; SATO, Hiroshi<sup>2</sup>; NAKAMURA, Kentaro<sup>3</sup>; YAMAZAKI, Toshitsugu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 専修大学, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup>AORI, UTokyo, <sup>2</sup>Senshu University, <sup>3</sup>UTokyo

Serpentinization of ultramafic rocks through hydrothermal alteration changes the physical, rheological, chemical, and magnetic properties of the oceanic lithosphere. Recent discovery of widespread exposures of serpentinized mantle materials on the seafloor in a slow-spreading environment renewed interest for this alteration process. However, we have limited understanding of the serpentinization mechanism because of the lack of data measured from seafloor rocks. Since magnetite is a direct product of serpentinization process, magnetic properties of serpentinized peridotites can be a good indicator to understand the process. We collected 30 peridotite samples of different degrees of serpentinization from the seafloor on the non-transform-offset massif called as the Yokoniwa Rise in the Central Indian Ridge. These 30 samples yielded a wide range (17-100%) of serpentinization degrees and provide us a good data set to evaluate the relationship between serpentinization and magnetic properties. The measured range of magnetic parameters are as follow; natural remanent magnetization (0.2-8.4 A/m), magnetic susceptibility (0.002-0.087 SI), and magnetite amount (0.1-5.5 wt%). The amount of magnetite varies nonlinearly, likely exponentially, as a function of serpentinization degree. Remarkable increase of magnetite amount occurs in samples with high degree of serpentinization (>70%), indicating larger production of magnetite during the late stage of serpentinization process. The results provide key constraints on the serpentinization mechanism, and insights on the potential of serpentinized mantle to contribute to marine magnetic anomalies.

キーワード: 蛇紋岩, 上部マントル, 岩石磁気, 低速拡大海嶺

Keywords: serpentinized peridotite, upper mantle, rock magnetics, slow spreading ridge



## Rock-magnetic properties of single zircon crystals sampled from the Tanzawa tonalitic pluton, central Japan Rock-magnetic properties of single zircon crystals sampled from the Tanzawa tonalitic pluton, central Japan

佐藤 雅彦<sup>1\*</sup>; 山本 伸次<sup>2</sup>; 山本 裕二<sup>3</sup>; 大野 正夫<sup>1</sup>; 綱川 秀夫<sup>4</sup>; 丸山 茂徳<sup>4</sup>  
SATO, Masahiko<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Shinji<sup>2</sup>; YAMAMOTO, Yuhji<sup>3</sup>; OHNO, Masao<sup>1</sup>; TSUNAKAWA, Hideo<sup>4</sup>; MARUYAMA, Shigenori<sup>4</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>東京大学, <sup>3</sup>高知大学, <sup>4</sup>東京工業大学

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>The University of Tokyo, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Tokyo Institute of Technology

Geomagnetic field paleointensity data provide critical information about the thermal evolution of the Earth, and the state of the geomagnetic field has been shown to be closely related to the surface environment. While it is pivotal to understand the variations in geomagnetic field intensity throughout the history of the Earth, data are still too scarce to resolve billion-year-scale geomagnetic field variation. This is primary because of the lack of geological samples for older eras, which often result in unsuccessful paleointensity experiments.

This study focuses on a paleointensity experiment using single zircon crystal. Zircon crystals play an important role in paleomagnetic studies because they have several mineralogical advantages: (1) they commonly occur in crustal rocks, (2) precise age determinations with U-Th-Pb and (U-Th)/He analyses are possible, and (3) they have highly resilient responses to alterations and metamorphism. Although rock-magnetic properties of single zircon crystal are essential for establishing the paleointensity method, few rock-magnetic studies have been conducted for single zircon crystals, which is largely because of their small size and weak magnetic moment.

To establish paleointensity method, we conducted systematic rock-magnetic measurements for single zircon crystals. Zircon crystals were sampled from fluvial sands of the Nakagawa River, which crosses the Tanzawa tonalitic plutons in central Japan. Young crystallization ages and the clear thermal history of the Tanzawa zircon crystals made them suitable for evaluating the feasibility of conducting paleointensity experiment using single zircon crystals.

Based on the results of rock-magnetic measurements for 1037 grains of zircon crystals, the zircon crystals can be classified into three groups. The first group contains little or no ferromagnetic minerals. The second group is characterized by low natural remanent magnetization (NRM)/isothermal remanent magnetization (IRM) ratios (0.004-0.02), pseudo-single-domain-like hysteresis parameters, and moderate low-temperature demagnetization (LTD) memory of IRM (20-90%). The third group is characterized by high NRM/IRM ratios (0.02-2), single-domain-like hysteresis parameters, and high LTD memory of IRM (60-140%). Results from low-temperature magnetometry analyses indicate that the main remanence carriers of the second group are nearly pure magnetite. Thermoremanent magnetization (TRM) acquisition experiments were also carried out for the second group zircon crystals. Consequently, the TRM intensity was comparable with that of NRM, and rough estimation of the paleointensity using bulk NRM/TRM ratios show field intensities consistent with the geomagnetic field intensity at the Tanzawa tonalitic pluton for last 5 Myr. A future study using the second group zircon crystals could provide reliable paleointensity data.

Keywords: Zircon, Tanzawa tonalite, Rock-magnetism, Paleointensity

## 非晶質シリケートの磁気異方性 Magnetic anisotropy of amorphous silicate

植田 千秋<sup>1\*</sup>  
UYEDA, Chiaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Osaka University

星間の磁場方向を観測して推定する手段として、ダスト整列による偏光が広く用いられ、それらは惑星形成に関する理論的な考察にも寄与してきた。しかし星間ダストは主として非晶質シリカであるため、従来の物理的理解では整列が定量的に説明できない状況にある。従って、非晶質シリカの実効的な磁気異方性の有無を、実験的に検証する意義があると考えられる。近年、天然の非晶質シリカ（テクタイト）の表面近傍で、不純物のFeイオンに由来する局所的な磁気異方性が検出された [1]。本研究ではこの異方性の一般性を検証するため、生成条件が制御された合成試料について、表面から内部方向に、異方性の線分析を実施した。即ちはじめに非晶質シリカ試料を表面から内部方向に向かって薄片 (1.0x0.7x0.08mm) に分割した (薄片面は bulk 試料表面に平行)。その上で個々の薄片ごとに微小重力空間に開放し、静磁場 (0.6T) に対する薄片の回転振動の周期から異方性を決定した [1]。その結果、合成試料でもテクタイトと同様に表面近傍で局所的に大きい異方性が確認された。先行研究と同様、試料表面に垂直な方向が、常に磁気的不安定軸であった。同時に上記の薄片に関して、電子スピン共鳴による g 値の異方性を検出し、シリカ内に孤立した鉄イオンの結晶場異方性が、回転振動で得た磁化率の異方性と矛盾しないことを確認した。

本研究でシリカ表面の法線方向が磁気的不安定軸になることが確認されたが、これにより非晶質粒子の磁気的主軸は (異方性が孤立イオン起源であるにもかかわらず)、一般に粒子の形状で制御できる事になる。例えばロッド状粒子の場合、法線が磁気的不安定である異方性を、微小表面に配置し全表面について積算すると、粒子全体ではロッド長軸が常に安定軸となる。その対極として球状の粒子の場合、全表面について積算した値はゼロとなる。このように非晶質表面で見出された異方性は、新しいタイプの粒子磁場配向の研究につながると期待される。

今後は、シリカ生成時の冷却条件、あるいは磁性イオンの差異による上記 profile の変動を測定し、異方性が発生する条件を原子レベルで明確にする。これにより星間ダストの整列機構についての考察も進展すると期待される。

[1] Yokoi et al :Planetary & Space Sci.(2014).

キーワード: 磁気異方性, ダスト整列, 微小重力, 回転振動, 磁場配向, 非晶質シリカ

Keywords: magnetic alignment, dust alignment, micro gravity, rotational oscillation, paramagnetic anisotropy, amorphous silica

## Louisville ホットスポットの古緯度から推定される Hotspot Drift Test of Hotspot Drift Using Recent Paleolatitude Data of Louisville Hotspot

原田 靖<sup>1\*</sup>; Wessel Paul<sup>2</sup>

HARADA, Yasushi<sup>1\*</sup>; WESSEL, Paul<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東海大学 海洋学部 海洋地球科学科, <sup>2</sup>Univ Hawaii

<sup>1</sup>School of Marine Science and Technology, Tokai University, <sup>2</sup>Univ Hawaii

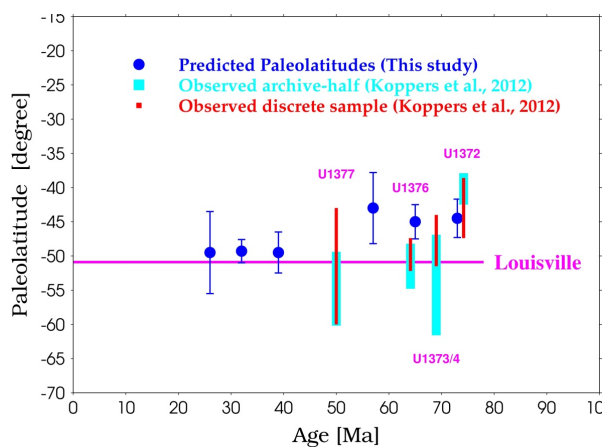
原田, 2007 JPGU では, Turduno et al., 2003 で得られた Hawaii ホットスポットトラックの古緯度のデータを解析し, このデータはホットスポットの相対運動の結果ではなく真の極移動だけで説明可能なことを示した. 本研究では同様な解析を Koppers et al., 2012 の Louisville ホットスポットトラックの古緯度のデータを用いて行った.

その結果は下図の様になり, 古緯度のデータの得られたサイト U1377 (50Ma), U1376 (64.1Ma), U1373 (69.5Ma), U1372 (74.2Ma) のデータは太平洋プレートの絶対運動と太平洋プレート上の古地磁気データから得られた(真の)極移動曲線から推定された理論的な古緯度とよく一致することがわかった. このことより Hawaii, Louisville 両ホットスポットトラックの古緯度の変化は, ホットスポットのドリフトを仮定せずに良く説明できることが示された.

さらにこの太平洋プレートで得られた(真の)極移動曲線は, 精密に求められたアフリカプレートの絶対運動モデルから独立に推定された(真の)極移動曲線と整合的であることも明らかになった.

キーワード: Hotspot Drift, Louisville ホットスポット, 古緯度, 真の極移動

Keywords: Hotspot Drift, Louisville Hotspot, Paleolatitude, True Polar Wander Path



西南日本の時計回り回転運動のタイミング：中新世堆積岩から得られた証拠  
Timing of the clockwise rotation of Southwest Japan: paleomagnetic evidence from  
Miocene sedimentary rocks

星 博幸<sup>1\*</sup>; 加藤 大貴<sup>1</sup>; 安藤 慶和<sup>1</sup>; 中島 和夫<sup>2</sup>  
HOSHI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>; KATO, Daiki<sup>1</sup>; ANDO, Yoshikazu<sup>1</sup>; NAKASHIMA, Kazuo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 愛知教育大学, <sup>2</sup> 山形大学

<sup>1</sup>Aichi University of Education, <sup>2</sup>Yamagata University

The clockwise rotation of Southwest Japan is a textbook example of near-pivot arc rotation associated with back-arc opening. However, its timing is still a matter of debate; earlier studies suggested rapid rotation at about 15 Ma, but this does not seem to be supported by recent paleomagnetic data. To address this problem, we have carried out a paleomagnetic study of biostratigraphically well dated (15.8-15.7 Ma) Miocene sedimentary rocks in the eastern part of Southwest Japan. A total of 288 rock samples of siltstone and felsic fine tuff were collected from a ~90 m sedimentary sequence. Of these, 142 yielded reverse polarity characteristic remanence directions, resulting in a formation-mean direction that can be used for tectonic discussion. We conclude that about 80% of the entire ~45° rotation occurred in a period between 17.5 Ma and 15.8 Ma at a rotation rate of ~21°/Myr, and the remaining ~20% by 15 Ma. This clockwise rotation happened in the latest stage of the late Paleogene to early Neogene opening of the Japan Sea.

キーワード: 古地磁気, 岩石磁気, 西南日本, 回転運動, 瑞浪地域, 生俣層

Keywords: paleomagnetism, rock magnetism, Southwest Japan, tectonic rotation, Mizunami area, Oidawara Formation

西南日本東部, 濃飛流紋岩の岩石磁気と古地磁気  
Rock magnetism and paleomagnetism of the Nohi Rhyolite in the eastern part of South-west Japan

酒向 和希<sup>1</sup>; 星 博幸<sup>1\*</sup>

SAKO, Kazuki<sup>1</sup>; HOSHI, Hiroyuki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 愛知教育大学

<sup>1</sup> Aichi University of Education

The Nohi Rhyolite is a late Cretaceous large volcanic complex in the eastern part of Southwest Japan and has a paleomagnetic record that can be used to infer the tectonic development of the eastern Asian margin. Previous studies have documented two distinct groups of paleomagnetic directions. One has a set of dual polarity antiparallel directions marked by an eastward-deflected declination, which has been reported from the peripheral areas of the Nohi Rhyolite. The eastward deflection suggests a clockwise tectonic rotation. Another is a reverse polarity directional set marked by a southward declination, which has been found in the central part. The southward direction was interpreted in a previous study to be a result of either (1) remagnetization around a fault running in the central part or (2) block rotation occurring in relation to the strike-slip faulting along the fault. To address this problem, we carried out detailed paleomagnetic and rock magnetic experiments and microscopic observations of volcanic and sedimentary rocks collected at 51 sites. We obtained 40 site-mean directions, and our experimental results suggest that they are retained primarily by magnetite and partly by hematite. Positive results of the paleomagnetic baked contact test indicate that the eastward-deflected characteristic remanent magnetization (ChRM) directions were acquired before 68 Ma. Our microscopic observations confirmed the existence of Fe-Ti oxides suffered by high-temperature oxidation in pyroclastic rocks at some sites where the eastward-deflected ChRM directions were detected, implying that the directions are primary thermoremanent magnetization. We obtained 15 reliable site-mean directions that were considered to be a primary magnetization. Basically they are consistent with the directions reported previously, but suggest more complicated crustal deformation in the eastern part of Southwest Japan than has previously been suggested, possibly resulting from the Miocene collision of the Izu-Bonin arc with the Honshu arc. In the central part of the Nohi Rhyolite, we found an outcrop where originally reddish pyroclastic rocks have partly been altered to greenish ones, and detailed magnetic experiments and microscopic observations were carried out for both rocks. Our results indicate that the reddish and greenish rocks possess an eastward-deflected direction and a reverse southward direction, respectively. The greenish rocks contain small secondary magnetite grains within an altered biotite. Therefore, we conclude that the reverse southerly direction is a secondary magnetization.

キーワード: 濃飛流紋岩, 古地磁気, 岩石磁気, 回転運動, 後期白亜紀

Keywords: Nohi Rhyolite, paleomagnetism, rock magnetism, tectonic rotation, late Cretaceous

## 地球電磁場ジャークとマントル深部電気伝導度 Further examination of the geoelectromagnetic jerk hypothesis

清水久芳<sup>1\*</sup>; 歌田久司<sup>1</sup>  
SHIMIZU, Hisayoshi<sup>1\*</sup>; UTADA, Hisashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo

Short time-scale geomagnetic main field variations such as a geomagnetic jerk may be influenced by electromagnetic induction and conduction in the lower mantle. Similar variations were seen in long baseline geoelectric field measurements that are in progress in the northwestern Pacific using thousand-kilometer-scale submarine cables. Geoelectric secular variation data from such measurements have potential to discuss the significance of the influence and to clarify the cause of the phenomenon if they are analyzed simultaneously with geomagnetic data. In our previous work, we found a sudden change of the geoelectric field trend at around 2006. By supposing simply that the geoelectric field variation has the same origin with the geomagnetic jerk in 2007 (geoelectromagnetic jerk hypothesis), which was evident in the south Atlantic and Africa, we made a numerical study to understand possible cause and conductivity structure in the mantle. As a result, it was found that the geoelectric and geomagnetic field variations were both explained if the variations were originated from a toroidal magnetic field at the core-mantle boundary. It was also suggested that significant electrical conduction currents existed in the D'' layer beneath the area where the geomagnetic field variation was evident. In this presentation, the validity of the geoelectromagnetic jerk hypothesis is discussed by extending the analyses adding more recent geoelectric and geomagnetic field data. Also, we estimate the amplitude of motionally induced electric field variation in the ocean by using a large-scale ocean circulation model, ECCO (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean), to confirm that motional induction is not the cause of the observed geoelectric signal.

キーワード: 地磁気ジャーク, 地球電場, マントル電気伝導度

Keywords: geomagnetic jerk, geoelectric field, electrical conductivity of mantle

## コア表面流の沸き出し・沈み込みによる地磁気永年変化 Geomagnetic secular variation due to upwelling and downwelling flows at the core surface

松島 政貴<sup>1\*</sup>  
MATSUSHIMA, Masaki<sup>1\*</sup>

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

Fluid flow near the core surface can be estimated from spatial distribution and secular variation of the geomagnetic field. We have developed a new approach into which the magnetic diffusion is incorporated inside the boundary layer at the core-mantle boundary (CMB), while it is neglected below the boundary layer as in the so-called frozen-flux approximation.

Locations of upwelling and downwelling flows can be derived from the core surface flow thus estimated, and the distribution inside and below the boundary layer provides information on existence of convective columns, which are classified into cyclonic and anti-cyclonic ones; an axial flow component from the CMB to the equator exists in a cyclonic column, whereas that from the equator to the CMB in an anti-cyclonic column. In reality, we have found typical distribution for convective columns in core surface flow below the Indian Ocean for the epoch of 1980.

In many numerical dynamo models, magnetic advection due to downwellings associated with cyclonic vortices is found to be in balance with magnetic diffusion, and cyclonic vortices at the core surface can be responsible for magnetic flux patches. Intense magnetic flux spots seen in equatorial regions might be generated by columnar flows near the equator. Hence we have examined secular variations due to upwelling and downwelling flows at the core surface. It turns out that intense flux spots in equatorial regions do not correspond to downwellings associated with axial flows in cyclonic columns near the equator. This result implies that pairs of intense magnetic flux spots in equatorial regions are produced by flux expulsion due to columnar flows there, and that magnetic diffusion is significant in equatorial regions.

キーワード: コア表面流, 永年変化, 地球磁場  
Keywords: core surface flow, secular variation, geomagnetic field

## 回転球殻中の磁気対流により引き起こされるアルフベン波の外側安定成層中の伝播 Propagation of Alfvén waves in an outer stable layer excited by MHD thermal convection in a rotating spherical shell

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

最近の地震波観測とその解析は地球の核マントル境界直下に厚さオーダー 100km の安定成層が存在することを示唆している。深部対流運動の外側安定成層への貫入の程度はダイナモ過程通じての磁場生成ならびに磁気永年変動の成因を考える上で重要な問題のひとつである。Takehiro and Lister (2001) は磁場がない場合に柱状対流の安定成層への貫入厚さを理論的に導出し、貫入厚さが惑星の自転角速度に比例し、安定成層のプラントバイサラ振動数ならびに擾乱の水平波数に反比例することを示した。しかしながら磁場の影響下での貫入厚さのスケールリングはいまだ知られていない。ここでは、安定成層下の対流運動によって引き起こされる安定成層中の流体運動と磁場擾乱を理論的に調べる。

Takehiro and Lister (2001) の理論モデルを磁気流体へと拡張する。下面境界からの流体運動と磁気擾乱が鉛直方向半無限空間に存在する密度成層した磁気流体中へと貫入する。系の回転軸は鉛直軸から傾いている。粘性と拡散の効果を無視し、安定成層が十分に強く基本場磁場が弱いことを仮定すると、磁気流体運動が2つの磁気流体波動に分類されることが線形解析からわかる。ひとつは速いモードであり、コリオリ力・浮力およびローレンツ力が足しあわさって波の復元力がもたらされている。もう一つは遅いアルフベン波であり、流体運動が水平方向に制限されている。下面から与えられる擾乱の振動数が十分小さければ、速いモードは安定成層を伝わることができず、その貫入距離は磁場のない場合のものに帰着する。これに対して遅いモードは、与えられる擾乱の振動数がどんなに小さくても安定成層中を伝播することができる。その伝播(貫入)距離はアルフベン速度と拡散係数及び擾乱の全波数の比で表される。

伝播距離の理論的なスケールリングの正当性を評価するために、一様磁場中に埋めこまれた上層に安定成層を伴う高速に回転する球殻中の磁気熱対流の線形解析を行った。強い安定成層を与えると、基本場磁場を強めていくにつれて、安定成層下に閉じ込められていた中立モードの柱状流体運動と磁気擾乱が次第に安定成層へ貫入していく。得られた中立モードの貫入距離は理論的スケールリングと良くあっている。

キーワード: 地球外核, 水星外核, アルフベン波, 核マントル境界, ダイナモ, 地磁気永年変動

Keywords: Earth's outer core, Mercury's outer core, Alfvén waves, core mantle boundary, dynamo, secular variation of geomagnetic field



## 回転球殻ダイナモにより引き起こされる磁気流体擾乱の強い安定成層への貫入 Penetration of MHD disturbances into a strongly stable outer layer caused by MHD dynamo in a rotating spherical shell

佐々木 洋平<sup>1\*</sup>; 竹広 真一<sup>2</sup>

SASAKI, Youhei<sup>1\*</sup>; TAKEHIRO, Shin-ichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科数学教室, <sup>2</sup> 京都大学数理解析研究所

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Kyoto University, <sup>2</sup>Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University

外側に強い安定成層を伴う回転球殻中の磁気流体ダイナモの数値実験を行った. Takehiro and Lister (2001) により提唱された磁場のない場合の擾乱の安定成層への貫入距離の値が安定成層の厚さに比べて十分小さいにもかかわらず、渦運動とトロイダル磁場擾乱は安定成層へ深く貫入する. この安定成層中の磁気流体擾乱は流体運動が水平面内に制限されたアルフベン波として解釈される. 新たに提案されたアルフベン波の伝播距離の理論的表現は数値的に得られた場が安定成層中をアルフベン波が減衰することなく完全に伝播することを示す.

キーワード: 地球外核, 水星外核, ダイナモ, アルフベン波

Keywords: Earth's outer core, Mercury's outer core, Dynamo, Alfvén waves

## 単一スポットの考古地磁気強度から得た過去400年間の地軸双極子モーメントの変化 Axial dipole moment over the past 400 years from single spot archeointensities

福岡 浩司<sup>1\*</sup>  
FUKUMA, Koji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 同志社大学理工学部

<sup>1</sup> Dept. Env. Sys. Sci., Doshisha Univ.

過去400年間の地軸双極子モーメントの変化を、三宅島の火山岩から得られた考古地磁気データを基にして、gufm1モデルと組み合わせて求めた。三宅島での噴出年代は古文書により明確に特定されており、フィールド調査との組み合わせで個々の溶岩流の年代は誤差なく与えられる。テリエ法による古地磁気強度は、上下のクリンカーとスコリアから得られた最近の火山岩について期待される地球磁場強度を与えた。三宅島の火山噴火は過去400年間に断続的に約50年おきに発生しており、時間と強度の両方で信頼性のある過去の地球磁場強度の記録を与える。熱消磁付き自動スピナー磁力計 TSpin を使用して、テリエ法による古地磁気強度測定を約300試料について行った。Gubbins et al., [2006] と同様の方法を適用して、三宅島の単一スポットの考古地磁気強度の変化から過去400年間に地軸双極子モーメントの単調な減衰を得た。1840年以降の機器記録を外挿して1590?1840年まで地軸双極子モーメントの直線的減少を仮定するgufm1に反して、Gubbins et al., [2006] は既存の考古地磁気強度データベースからは地軸双極子モーメントに明確な時間的变化は認められないと主張した。データベースには様々な試料、場所や実験方法から得られた考古地磁気強度データが含まれており、年代と強度の両方に大きな誤差が含まれている。単一スポットの考古地磁気強度はこれらの問題を避けることができ、地軸双極子モーメントの変化を得るのに適している。

キーワード: 考古地磁気強度, テリエ法, 地磁気学

Keywords: archeointensity, Thellier method, geomagnetism

## 陶邑窯跡群試料を用いた近畿地方における地磁気永年変化の再検討 (II) Reexamination of geomagnetic secular variation in Kinki District using samples from Suemura kilns (II)

渋谷 秀敏<sup>1\*</sup>; 望月 伸竜<sup>2</sup>; 畠山 唯達<sup>3</sup>

SHIBUYA, Hidetoshi<sup>1\*</sup>; MOCHIZUKI, Nobutatsu<sup>2</sup>; HATAKEYAMA, Tadahiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 熊本大学大学院先端機構, <sup>3</sup> 岡山理科大学情報処理センター

<sup>1</sup> Dep't of Earth & Environment, Kumamoto Univ., <sup>2</sup> Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University,

<sup>3</sup> Information Processing Center, Okayama University of Science

1960-70年代に、大阪府堺市周辺で大規模な宅地造成工事が行われ、それに伴い膨大な古窯跡が発掘された。それら古窯跡は詳細な考古学的研究が行われ、考古地磁気研究も、当時の大阪大学・川井研究室が行った。その結果、5世紀から10世紀の地磁気永年変化曲線が決定されている。しかし、その測定は無定位磁力計によるもので、また、消磁も行われていないと言う問題点があった。幸いそれらの試料は現存しており、大阪大谷大学で保管されていた。岡山理科大学と熊本大学ではそれらの試料をもらい受け、2011年から系統的な再測定を始め、2012のJpGUで予察的な測定について発表した。今回は、残存試料のあるサイトの約80% 215サイト 1992試料の測定を終えたので、古地磁気方位の概要について報告する。

測定は大半は熊本大学のスピナ磁力計(夏原技研製 SMM1985)に考古地磁気の大規模試料用アタッチメントを付けて測定した。交流消磁は、各サイト1個のパイロットサンプルを選び、段階消磁して、その結果で選んだ消磁段階で一斉消磁を行なうという手順を基本とした。試料の磁化は一般に単純で、選んだ消磁強度の前後での磁化方位の変動は小さく、選択による結果の違いはほとんどない。古地磁気強度測定などの利用に備えて、各サイト1試料は非消磁で残した。

前回のJpGUでの報告で問題となったのは、サイト内の古地磁気方位に孤立値やバラツキの多い部分があるものが多数見られたことであった。これらから孤立値を統計的に処理して平均を求め、地磁気永年変化曲線を暫定的に書いた。今回も、その手法での永年変化曲線の推定を試みるが、全試料の古地磁気方位の密度マップを作り、年代軸を必要としない永年変化曲線の推定を試みた。これは、今回測定したサイトの中に年代不明のものがかなり存在したからでもある。結果得られた永年変化曲線は、Hirooka (1971) や Shibuya (1980) によるものと、概要は類似しているが、伏角の振幅が大きくなった。また、密度マップにギャップがあるように見受けられた。永年変化速度に短期間の変動がないと仮定すると、陶邑工人集団の消長を表しているのかもしれない。

キーワード: 考古地磁気学, 地磁気永年変化

Keywords: Archeomagnetism, Geomagnetic secular variation

## 2014年水月湖採掘コアの予察的古地磁気分析 A preliminary paleomagnetic result from Lake Suigetsu 2014 cores

松下隼人<sup>1\*</sup>; 兵頭政幸<sup>1</sup>; 中川毅<sup>2</sup>; 原口強<sup>3</sup>; 北川淳子<sup>4</sup>; 五反田克也<sup>5</sup>; 北場育子<sup>2</sup>;  
山田圭太郎<sup>6</sup>

MATSUSHITA, Hayato<sup>1\*</sup>; HYODO, Masayuki<sup>1</sup>; NAKAGAWA, Takeshi<sup>2</sup>; HARAGUCHI, Tsuyoshi<sup>3</sup>;  
KITAGAWA, Junko<sup>4</sup>; GOTANDA, Katsuya<sup>5</sup>; KITABA, Ikuko<sup>2</sup>; YAMADA, Keitaro<sup>6</sup>

<sup>1</sup>神戸大学, <sup>2</sup>立命館大学, <sup>3</sup>大阪市大, <sup>4</sup>福井県里山里海湖研究所, <sup>5</sup>千葉商科大学, <sup>6</sup>京都大学

<sup>1</sup>Kobe University, <sup>2</sup>Ritsumeikan University, <sup>3</sup>Osaka City University, <sup>4</sup>Fukui Prefectural Satoyama-Satoumi Research Institute,  
<sup>5</sup>Chiba University of Commerce, <sup>6</sup>Kyoto University

Varved sediments were sampled in Lake Suigetsu by Fukui prefectural government in July to September, 2014. Core samples were collected from four bore holes named E, F, G and H near the center of the lake, c. 500 m. to the east of the deepest place. From hole E, 86 sections with a total length of 83.6 m were recovered, and from hole F we obtained 87 sections with a total length of 85.2 m, 28 of which were magnetically oriented. From hole G, we collected 38 sections, 13 of which were magnetically oriented, in order to fill the gaps in holes E and F cores. Sections from hole H are essentially back-ups. Sub-sampling from each core was made using double-L technique (Nakagawa et al. 2012). Sub-samples are 50 to 100 cm long with a cross section of 2 cm by 2 cm. They were all sealed up in Saran (polyvinylidene chloride) film, and vacuum-sealed with deoxidant agents in an aluminum-lined polyethylene bag, before transported to the laboratory. In addition, cubic specimens with a 2.2 cm side were collected from holes F and G cores in the lakeside workshop, and cubic specimens with a 2.0 cm side were re-sampled from LL-channel samples with a cross section of 2 cm by 2 cm in the laboratory of Kobe University.

Firstly, preliminary paleomagnetic analyses were conducted on two double-L channel samples, with progressive alternating field demagnetizations. All characteristic remanent magnetizations measured at 1-cm regular interval have almost constant directions close to the present geomagnetic field. This suggests the remanence of a core is intensively affected by secondary viscous remanent magnetizations (VRM). Next, we performed preliminary paleomagnetic analyses of discrete specimens with progressive thermal demagnetizations (THD). The result shows that secondary VRMs are removed below 350 °C, and we confirmed that THD was more useful to isolate a primary remanent magnetization than AFD. From preliminary paleomagnetic analyses with progressive THDs for pilot discrete specimens collected from 100 to 10 cm intervals, we have obtained two excursions paleomagnetic directions. One is of an oriented specimen collected at a preliminary composite depth of about 32.50m, having negative inclination and northerly declination, and the other is of an unoriented specimen collected at a preliminary composite depth of 30.25m, having low positive inclination. Both are carried by a component with a temperature range from 400 to 590 °C, which shows the carrier is magnetite. The Lake Suigetsu varve chronology suggests they are dated at 41 ka and 38 ka, respectively. The former or both may be correlated with the Laschamp excursion.

キーワード: 水月湖, 年縞堆積物

Keywords: Lake Suigetsu, Varved sediments

## 美濃帯犬山地域に分布する上部三畳系層状チャートから得られた古地磁気・化石統合層序

### Magneto-biostratigraphy of the Upper Triassic bedded chert succession from the Mino Belt, Inuyama area, central Japan

山下 大輔<sup>1\*</sup>; 宇野 康司<sup>2</sup>; 尾上 哲治<sup>1</sup>  
YAMASHITA, Daisuke<sup>1\*</sup>; UNO, Koji<sup>2</sup>; ONOUE, Tetsuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科理学専攻地球環境科学講座, <sup>2</sup> 岡山大学大学院教育学研究科理科教育講座

<sup>1</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto, <sup>2</sup>Graduate School of Education, Okayama University

Late Triassic magnetostratigraphy and biostratigraphy has recently been investigated in both continental and Tethyan marine sequences (Hounslow and Muttoni, 2010). However, there is no agreed on geomagnetic polarity timescale (GPTS) for the Late Triassic, because of poor age control of many Late Triassic magnetostratigraphic sections, missing or duplicated intervals, and within-section changes in sedimentation rates (Lucas, 2013).

In an attempt to circumvent this problem in the Carnian to Norian, we have established the magnetostratigraphy and biostratigraphy of two bedded chert successions from the Mino Belt, Inuyama area, central Japan.

Paleomagnetic samples from Inuyama area were drilled and oriented in the field at an average sampling interval of ~20 cm. Chert samples were collected at two localities (Sakahogi and Momotaro sections) where Sugiyama (1997) investigated the radiolarian biostratigraphy. In this study, at Sakahogi section, 93 samples for the biostratigraphy study were collected from ~30-m-thick early Carnian to late Norian red chert section (Section N; Sugiyama, 1997). We also sampled at Momotaro section where ~15-m-thick early Carnian to late Norian red chert is well exposed (Section Q; Sugiyama, 1997). 45 samples for the biostratigraphy study and 156 oriented samples for the magnetostratigraphy from 176 beds were collected from this locality. In total, 294 samples were collected from Late Triassic (Carnian to Norian) red cherts of the Inuyama area. All samples were thermally demagnetized and analyzed at the paleomagnetic laboratory of Center for Advanced Marine Core Research, Kochi Univ.

We found many platform conodonts from 81 samples in the section N and Q, where the radiolarian biostratigraphy have previously been investigated (Sugiyama, 1997). These sections are relatively well exposed and continuous. Based on detailed study of the conodont biostratigraphy from the interval of the Carnian and the late Norian in the section N and Q, five conodont zones are recognized. These biozones are calibrated with the radiolarian zone studied in the Upper Triassic bedded chert successions in the Japanese accretionary complex. Thermal demagnetization showed four distinct remanent magnetization components from the cherts. Multiple components of secondary magnetization have been recognized from the red cherts of the Inuyama area (Shibuya and Sasajima 1986; Oda and Suzuki 2000; Ando et al. 2001). The lowest temperature component below 200 °C (component A) is a present-day viscous overprint. The second component has reversed polarity and unblocking temperatures between 200 °C to 420 °C (component B). The third-demagnetized component is removed up to 580 °C (component C). The first three components are interpreted to be secondary magnetizations. In contrast, the last-removed (highest blocking temperature) component (component D) shows positive reversal tests and is likely primary remanent magnetization. Paleomagnetic polarity reversals observed for the lower Carnian to late Norian are almost correlated with those of other marine sections.

キーワード: 後期三畳紀, 古地磁気層序, 化石層序, 層状チャート, 美濃帯, パンサラサ海

Keywords: Late Triassic, magnetostratigraphy, biostratigraphy, bedded chert, Mino belt, Panthalassa

南アフリカ・Vredefort 構造におけるグラノファイヤ岩脈と母岩の境界の発見と古地磁気  
Paleomagnetism of a lithological contact of granophyre dikes with bedrock granites at Vredefort dome, South Africa

中村 教博<sup>1\*</sup>  
NAKAMURA, Norihiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理・地学  
<sup>1</sup>Dep. Earth Sci., Tohoku Univ.

The Vredefort dome is known as the largest and oldest ( $2023 \pm 4$  Ma) terrestrial impact structures, which is the deeply-exhumed remnant of the central uplift zone (~10km) of an originally ca. 250-km diameter crater. The Vredefort impact structure contains a suite of granophyric dykes, referred to as the Vredefort Granophyre, occurring within and at the edge of the Archaean basement core. This unique melt rock occurs as vertical ring dikes along the contact between sedimentary collar and core of Archaean granites, and as vertical dikes extending northwest-southeast and northeast-southwest in the granitic core. Although there have been a lot of mineralogical and isotopic studies, the lithological contact has not been observed due to the lack of the outcrop. During our field survey, we found the lithological contact of the Vredefort granophyre with bedrock granites near the Kopjeskraal Country Lodge, Vredefort, South Africa. In this presentation, we report the presence of a distinct chilled margin from a cooperative study of petrology and rock magnetism of the contact and also a micro-paleomagnetic consideration across a transection of the chilled margin.

須恵器実験窯の焼土試料の考古地磁気強度研究—綱川・ショー法の有効性の検討(続報)

Archeointensity study on baked clay from the reconstructed kiln: implication for validity of the Tsunakawa-Shaw method

山本 裕二<sup>1\*</sup>; 鳥居 雅之<sup>2</sup>; 夏原 信義<sup>3</sup>

YAMAMOTO, Yuhji<sup>1\*</sup>; TORII, Masayuki<sup>2</sup>; NATSUHARA, Nobuyoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 高知大学, <sup>2</sup> 岡山理科大学, <sup>3</sup> 夏原技研

<sup>1</sup>Kochi University, <sup>2</sup>Okayama University of Science, <sup>3</sup>Natsuhara Giken

A reconstruction experiment of a kiln had been done to imitate completely that of an excavated kiln of the 7th century in Japan. Baked clay samples were taken from floor surface and -20 cm level, and they have been stored after determinations of the paleomagnetic directions by partial alternating field demagnetizations. A suite of the rock magnetic experiments and the scanning electron microprobe observations elucidate that dominant magnetic carriers of the floor surface samples are Ti-poor titanomagnetite grains in ~10 nm size with single-domain and/or super-paramagnetic states, whereas contributions of multi-domain grains seem to be relatively large for the -20 cm level samples. We applied the Tsunakawa-Shaw method to the samples to assess how reliable archeointensity results are obtained from the samples. From the floor surface samples, six out of the eight successful results were discriminated and they give an average of 47.3 microT with a standard deviation of 2.2 microT. This is fairly consistent with the in-situ geomagnetic field of 46.4 microT at the timing of the reconstruction. They are obtained with a built-in anisotropy correction using anhysteretic remanent magnetization, and without any cooling rate corrections. In contrast, only one out of the four successful result was obtained from the -20 cm level samples. It yields an archeointensity of 31.6 microT, which is inconsistent with the in-situ geomagnetic field. Considering from the in-situ temperature record during the firing of the kiln, the floor surface samples acquired full thermoremanent magnetizations (TRMs) as their natural remanent magnetizations whereas the -20 cm level samples only acquired partial TRMs, and these differences probably cause the difference in the archeointensity results between the two sample groups. For archeointensity researches, baked clay samples from a kiln floor are considered to be ideal materials.

## 7～10世紀の日本における考古地磁気強度変動の傾向 Archeointensity trend between 7th and 10th century in Japan

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, <sup>5</sup>岡山理科大学 生物地球学部

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

地球磁場は、様々な時間スケールにおいて複雑かつ不規則な変動を示すことが知られている。とくに1～1000年周期を持つ地磁気永年変化と呼ばれる変動を過去に向けて詳細に追跡することは、地球システムの理解にあたって重要だと考えられている。近代的な地磁気観測に基づくデータが存在しない16世紀以前の変動の情報を得るには古地磁気学的なアプローチが必要になるが、とくに考古遺物を測定対象として利用する「考古地磁気学」の手法は、高品質な過去の地磁気データを提供するとして期待されている。近年、とくにヨーロッパにおける考古地磁気学の発展は目覚ましく、偏角・伏角・強度について、過去3000年間を網羅するデータセットが公開され (Donadini et al., 2009)、全球的な磁場モデルも提案されている (Korte et al., 2009)。

日本においても、偏角・伏角については1960年代より多くの論文報告がなされ、文化財分野にも応用されてきた (e.g. 広岡ほか, 2006)。一方、強度については、現在までに4編の論文 (Nagata et al., 1963; Sasajima and Maenaka, 1966; Sakai and Hirooka, 1986; Yoshihara et al., 2003) が報告されているが、一定の信頼度を有すると認定できるデータは計43点と少ない。これらは旧来の実験手法および基準のもとで得られたものであり、最新の実験手法および基準のもとで新たにデータを得て、検証を行う必要がある。本研究では、古墳時代～平安時代に操業した須恵器窯である岡山県の邑久窯跡群と大阪府の陶邑窯跡群より採取された焼土試料に対して、最新手法であるIZZI-テリエ法 (Tauxe and Staudigel, 2004) と綱川-ショー法 (Yamamoto et al., 2003) を適用し、同時代における考古地磁気強度変動を推定・考察することを目的とした。

強度実験に先立ち行った各種岩石磁気実験の結果、邑久試料と陶邑試料に共通して580℃付近にキュリー点が見られ、最大保磁力は60～80 mTであったことから、主磁性鉱物はチタンに乏しいチタノマグネタイトであると推定された。ブロッキング温度は100～600℃付近に幅広く分布し、ヒステリシス・パラメータについても相互作用の少ない単磁区粒子的な成分が卓越していることから、これらの試料に対して古地磁気実験が適用可能であると判断した。

強度実験の結果、テリエ法に関しては41個の試片から、ショー法に関しては23個の試片から基準を満たす合格結果が得られた。試料採取サイトごとに一定の信頼度を有する結果を選別するため、合格試片が3個以上で、サイト平均強度に対する標準偏差が20%以内に収まるものを抽出すると (1) KM-11 窯跡 48.0 ± 9.6 uT (630 ± 10 年)、(2) TG-38-III 窯跡 45.4 ± 2.0 uT (720 ± 10 年)、(3) KM-102 窯跡 55.3 ± 8.4 uT (750 ± 10 年)、(4) KM-38-II 窯跡 50.0 ± 4.3 uT (770 ± 10 年)、(5) 佐山新池1号窯跡 55.9 ± 8.4 uT (775 ± 25 年)、(6) 佐山東山窯跡 48.9 ± 7.4 uT (775 ± 25 年)、(7) 佐山東山奥窯跡 49.4 ± 4.5 uT (900 ± 50 年) の結果が選別された。

一定の信頼度を有すると認定できる、本研究および日本の先行研究のデータとを比較すると、先行研究のデータがA.D.600～900年の期間に約70 uTから約50 uTへと強度の減少を示しているのに対し、本研究のデータは約50 uT程度で一定の強度を維持しているという違いが認められる。この一定強度であったという傾向は、最近、韓国および中国から報告されたデータ (Hong et al., 2013; Cai et al., 2014) と調和的である。さらに仮想的な地心軸双極子モーメント (VADM) に変換して全球規模での傾向を比較すると、GEOMAGIA50 データベース (Donadini et al., 2006; Korhonen et al., 2008) より抽出した世界各地からのデータに見られるA.D.0年の約 $11 \times 10^{22}$  Am<sup>2</sup>から現在の約 $8 \times 10^{22}$  Am<sup>2</sup>にかけての緩やかな減少傾向とも、本研究のデータは調和的である。

キーワード: 考古地磁気強度, 永年変化, 須恵器窯, 高品質データ, IZZI-テリエ法, 綱川-ショー法

Keywords: archeointensity, secular variation, climbing kiln of Sue ware, high-quality data, IZZI-Thellier method, Tsunakawa-Shaw method



## 松本市高畑遺跡と和田太子堂遺跡の考古地磁気学的研究 Archeomagnetic study of Takabatake ruins and Wada-taishido ruins in Matsumoto city

邊見 涼<sup>1\*</sup>; 齋藤 武士<sup>1</sup>  
HEMMI, Ryo<sup>1\*</sup>; SAITO, Takeshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 信州大学理学部地質科学科

<sup>1</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University

本発表で筆者らは、長野県松本市の高畑遺跡と和田太子堂遺跡の4サイト(それぞれTK2~4, W1)で発見された被熱痕跡を示す土壌(焼土)の考古地磁気方位を報告する。被熱の影響を評価するため、現地で携帯型の帯磁率計を用いて地表面の帯磁率測定を行い、被熱痕跡が認められない箇所(非被熱部)からも試料を採取して残留磁化測定を行った。得られた結果を基に、被熱と帯磁率・NRM強度の関係、残留磁化の起源、遺跡の年代、松本市における地磁気変動の地域差について議論を行う。

携帯型の帯磁率計を用いて現地で地表面の帯磁率を測定した結果、土壌の種類が異なる一部の箇所を除き、同質の土壌から採取した試料については、被熱度が高くなるにつれて帯磁率値も大きくなった(平均8~11(SI), 最大値25(SI))。また、実験室での測定結果から、消磁前のNRM強度と帯磁率も同様に、被熱度が高くなるにつれて値が大きくなることがわかった。NRM強度だけでなく帯磁率の値も変化したことから、被熱の結果TRMが獲得されたことに加えて、磁性鉱物の量が増加したことが考えられる。

段階交流消磁実験の結果、焼土から採取した試料だけでなく非被熱部から採取した試料からも、原点に向かう直線性の良い磁化成分が得られた。産状からそれぞれTRM起源、DRM起源の磁化成分だと考えられる。TRM起源と考えられる磁化成分はNRM強度、帯磁率ともに高くなる。そのため今回はNRM強度、帯磁率が低いものはDRM起源と考え、考古地磁気方位を求める際には除外した。得られた方位はそれぞれTK2(偏角=-0.6°, 伏角=51.9°,  $\alpha$  95=2.3°, k=678.2), TK3(偏角=-4.3°, 伏角=52.1°,  $\alpha$  95=1.6°, k=1234.6), TK4(偏角=-1.7°, 伏角=56.1°,  $\alpha$  95=2.2°, k=500), W1(偏角=-11.7°, 伏角=49.5°,  $\alpha$  95=1.8°, k=950.1)となり、集中度の良い考古地磁気方位が得られた。得られた方位をHatakeyama et al. (in prep.)の永年変化曲線と比較して年代を推定したところ、土器編年による年代と調和的な年代が得られたが、考古地磁気による年代のほうが50年ほど古い年代値を示した。また、得られた方位は、Hatakeyama et al. (in prep.)の永年変化曲線より東側に偏っており、松本市内において西偏の影響が弱かったことが考えられる。現在の偏角の磁気図(国土地理院, 2010年度値)によると非双極子成分の影響で甲府を中心に偏角が数度ほど小さい範囲が見られ、松本市も同緯度地域と比べて1度程度偏角が小さい。このため過去においても非双極子成分の影響を受けて、偏角の値が小さかった可能性が考えられる。

キーワード: 考古地磁気学, 地磁気永年変化, 非双極子成分, 熱残留磁化, 堆積残留磁化, 遺跡

Keywords: Archeomagnetism, Geomagnetic secular variations, non-dipole component, thermal remanent magnetization, depositional remanent magnetization, ruins

## 伊能忠敬山島方位記に基づく19世紀初頭の日本地磁気偏角の解析 第9回報告 Analyzing the early 19th century's Geomagnetic declination in Japan from Tadataka Inoh's Santou-Houi-Ki The 9th report

辻本 元博<sup>1\*</sup>; 面谷 明俊<sup>2</sup>; 宮内 敏<sup>3</sup>  
TSUJIMOTO, Motohiro<sup>1\*</sup>; OMOTANI, Akitoshi<sup>2</sup>; MIYAUTI, Satoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日本地図学会, <sup>2</sup> 山陰システムコンサルタント, <sup>3</sup> 銚子ジオパーク  
<sup>1</sup> Japan Cartographers Association, <sup>2</sup> Sannin System Consultant, <sup>3</sup> Geopark Choushi

国宝「山島方位記」は伊能忠敬による1800年から1816年迄の北海道東岸から屋久島迄の推計約20万件の精度 $0^{\circ} 05'$ の陸上磁針測量方位角を記録した67巻でなる台帳である。1917年に唯一詳細位置が既知であった江戸(東京)深川伊能隠宅での1802年、1803年の磁針測量方位角データからの地磁気偏角の解析後に頓挫した解析を理科系と文科系間の学際同時解析で進めている。我々はこの地球惑星科学、測量学、古地図学、郷土史、人文科学を横断する学際同時解析により、分野に分かれた伝統的な研究方法よりも真北方位、地磁気偏角及び山島方位記に記載の磁針測量実施基点の短い記述や測量対象地点の歴史的地名を解明する詳細な根拠を増やすことができる。

(1) 「山島方位記」には伊能忠敬の測量実施基点の短い記述、測量対象地点名、 $0^{\circ} 05'$ 精度の磁針測量方位角が記載されている。

(2) 解析の手順 景観再現ソフトと国土地理院GSI電子国土地図により個々の測量対象地点の緯度経度と測量実施基点概略位置の緯度経度を知り、測量実施基点概略位置から各測量対象地点への真北方位角の概略を把握する。

地磁気偏角=真北方位角-山島方位記に記載の磁針コンパス測量方位角。

測量実施基点概略緯度経度(精度 $0^{\circ} 00' 01''$ )の位置から複数の測量対象地点位置への真北方位角から磁針コンパス測量方位角を差し引いた総ての地磁気偏角の値( $0^{\circ} 00' 00.01''$ 単位)が互いにより近似になる測量実施基点詳細位置の緯度経度(精度 $0^{\circ} 00' 00.01''$ )を逆算計算する。各地磁気偏角の値の平均値を $0^{\circ} 00' 00.001''$ で計算し、その測量実施基点に於ける伊能忠敬測量実施当日の地磁気偏角として $0^{\circ} 01'$ 単位で発表する。計算速度向上と精度確保の為にエクセルの連続式を使う。可能な限り測量実施基点の現地に行き実景を確認し、GPS送受信機で緯度経度を測り、地磁気偏角の数値を再計算する。

(3) 「山島方位記」を解析し、19世紀初頭に遡り日本を地磁気偏角データの過疎地から正確な地磁気偏角データの集中地域に変え、北東アジアに新しいデータを提供する。解析済み地点数は183を超えた。当時の日本列島の等偏角線の概要と西日本沿岸での $0^{\circ} 15'$ 毎の偏角の分布が現れ始めた。解析は沿岸から本州内陸部へ進みつつある。

(4) 「山島方位記」から解析した当時の日本列島の等偏角線とアメリカ海洋大気庁NOAA作成Historical Magnetic Declination in.1800,

1805,1810,1815を比較すると概ね同一である。小さな相違はアメリカ海洋大気庁HMDの西偏が約5年遅いことである。

(5) 但し、「山島方位記」の解析からはアメリカ海洋大気庁HMDに描けない地域的な磁気異常と考えられる地磁気偏角も北海道東部南

岸、能登半島の一部、伊勢の浅熊山、九州の延岡等で判明した。「山島方位記」の解析はますます重要になる。

キーワード: 地磁気偏角, 伊能忠敬, 山島方位記, 測量基点, 測量対象, 学際

Keywords: geomagnetic declination, Tadataka Inoh, Santou-Houi-Ki, Survey reference point, Survey Target point, interdisciplinary

## 秋田県一ノ目潟のコア堆積物に保存された残留磁化 Remanent magnetization observed in core sediments from the Ichinomegata Maar, Akita Prefecture

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

<sup>1</sup> 同志社大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 同志社大学工学部環境システム学科, <sup>3</sup> 静岡県 文化・観光部 文化学術局 ふじのくに地球環境史ミュージアム整備課, <sup>4</sup> 北海道大学大学院地球環境科学研究院, <sup>5</sup> 鳴門教育大学大学院学校教育研究科, <sup>6</sup> 千葉商科大学政策情報学部, <sup>7</sup> 大阪市立大学大学院理学研究科

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

The Ichi-no-megata is a maar lake with a maximum water depth about 45 m, located in the Oga Peninsula on the Japan Sea coast. A piston-core sample (IMG13P) obtained in 2013 provided a Holocene paleomagnetic secular variation (PSV) record through measurements of natural remanent magnetization (NRM) of 7cm<sup>3</sup> cubic samples. Also, we collected Mackereth core samples (IMG13M-1 and IMG13M-2) at the center of the lake, and measured magnetic susceptibility, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and NRM of 7cm<sup>3</sup> cubic samples.

The core sediments are mostly composed of laminated clay or silt intercalating sandy turbidite layers. According to correlation between the Mackereth cores and the piston cores based on lithological and magnetic susceptibility data, it is revealed that uppermost parts of the piston cores were missed. Inclinations of minimum axis and shape parameters *q* of AMS ellipsoids indicate that turbidite layers of upper parts have not preserved primary sedimentary fabric. Stepwise AF demagnetization of the NRM showed that remanence of the laminated layer is more stable than turbidite layers. Therefore, we argue that the turbidite sediment is not suitable for preservation of NRM.

キーワード: 残留磁化, 初磁化率, 一ノ目潟

Keywords: Remanent magnetization, magnetic susceptibility, Ichi-no-megata Maar

## 沖縄県羽地内海堆積物の残留磁化：磁性鉱物種と続成作用の検討 Remanent magnetization of a sediment core from Haneji-naikai, Okinawa : Diagenetic modification of magnetic mineral

高梨 祐太郎<sup>1\*</sup>; 林田 明<sup>2</sup>; 山田 和芳<sup>3</sup>; 五反田 克也<sup>4</sup>; 米延 仁志<sup>5</sup>  
TAKANASHI, Yutaro<sup>1\*</sup>; HAYASHIDA, Akira<sup>2</sup>; YAMADA, Kazuyoshi<sup>3</sup>; GOTANDA, Katsuya<sup>4</sup>; YONENOBU, Hitoshi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 同志社大学大学院理工学研究科数理環境科学専攻, <sup>2</sup> 同志社大学工学部環境システム学科, <sup>3</sup> 静岡県 文化・観光部 文化学術局 ふじのくに地球環境史ミュージアム整備課, <sup>4</sup> 千葉商科大学政策情報学部, <sup>5</sup> 鳴門教育大学大学院学校教育研究科  
<sup>1</sup>Doshisha Univ., Grad. School Sci. & Engineer., <sup>2</sup>Department of Environmental Systems Science, Doshisha University, <sup>3</sup>Museum of Natural and Environmental history, Shizuoka, <sup>4</sup>Faculty of Polycy Informatics, Chiba University of Commerce, <sup>5</sup>Graduate School of Education, Naruto University of Education

沖縄本島北西部に位置する羽地内海および塩屋湾から採取された堆積物コアについて、赤色土の流入と周辺の環境変遷に関する環境磁気学的研究を行った。今回の発表では、羽地内海の中央部（水深 9.2 m）から採取されたコア試料（OHU10-1；長さ 278 cm）の自然残留磁化の特徴について報告する。

自然残留磁化（NRM）の測定は U-チャンネル試料を対象とし、パススルー型超伝導磁力計（2G Enterprises 755R）を用いて行った。NRM の段階交流消磁の結果、深度 120 cm 未満の NRM は 15 mT 以上の交流消磁でほぼ直線的に原点に向かって減衰するという特徴（MAD：10° 未満）を示した。しかし 130 cm 以上の NRM の強度は上部の 2% 程度と小さく、段階交流消磁によって特徴的な磁化成分を認定することはできなかった（MAD：10° 以上）。同じく U-チャンネル試料について測定した初磁化率は深度 35 cm 付近で最大値（630  $\mu$  SI）を示し、深度 160 cm まで減少、それ以降ではほぼ一定の値（約 140  $\mu$  SI）を示した。80 mT で付与した非履歴残留磁化（ARM）の強度はコア最上部から深度 100 cm にかけて漸増し、深度 140-160 cm において急激に約 2 桁減少し、それ以降では約 0.0025 A/m の値となった。

U-チャンネル試料から体積 1 cm<sup>3</sup> のキューブ試料を採取し、Kappabridge（AGICO KLY-3S）による初磁化率と 2G755R による ARM の測定を行った後、Impluse Magnetizer（ASC IM-10）を用いて等温残留磁化（IRM）の段階的付加（1.0 T まで）と逆方向の磁場（-0.3 T）の付与を行った。その結果、IRM に占める低保磁力成分（0.3 T 以下）の割合（S-ratio）はコア最上部から深度 80 cm にかけて 0.9 から 1.0 に近づいた後、深度 140-160 cm で急減、それ以降では 0.7 以下の低い値を示した。IRM の高保磁力成分（0.3 T 以上；HIRM）はコア最上部でピークを持ち、深度 80 cm にかけて減少した。さらに、深度 12 cm、110 cm、145 cm、195 cm、235 cm の堆積物を石英ガラスのシリンダーに充填し、直交する 3 軸方向に 1.0 T、0.4 T、0.12 T の順に付与した IRM の段階熱消磁実験（Lowrie, 1990）を行ったところ、上部 3 層準の試料では 580 °C 付近と 200 °C で低保磁力成分の強度が減少することが判明し、チタノマグネタイトとマグネタイトの存在が示唆された。

深度 140 cm 付近から認められた ARM と S-ratio の急激な減少は、還元的続成作用による細粒マグネタイトの溶解によるものと推定される。このため、深度 130 cm 以上で安定した NRM が認められなかったと考えられる。

キーワード: 古地磁気学, 自然残留磁化, 続成作用, 堆積物, 赤色土壌, 沖縄

Keywords: paleomagnetism, natural remanent magnetization, diagenesis, sediment, red soil, Okinawa

## 北西大西洋ニューファンドランド沖の IODP Site U1403 から採取された海洋コアの 岩石磁気特性 Rock magnetic property of the marine sediment cores recovered from IODP Site U1403 in the Northwest Atlantic

深見 洋仁<sup>1\*</sup>; 山本 裕二<sup>2</sup>  
FUKAMI, Hiroto<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Yuhji<sup>2</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>1</sup>Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, <sup>2</sup>Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

海底堆積物は過去の環境変動を時間的にほぼ連続して記録している試料であり、地質時代に遡る環境変動を解明する上で重要な情報源となる。統合国際深海掘削計画 (IODP) 第 342 次研究航海では、暁新世から始新世の気候変動解明を目的に、北西大西洋ニューファンドランド沖から海底堆積物が掘削された (Expedition 324 Scientists, 2012)。我々は当該期間における古地磁気強度相対値変動を解明することを目指しており、そのためには岩石磁気的に比較的均質な層準を見いだす必要がある。本研究では Site U1403 の Hole A より約 1.5 m の間隔で採取した 88 個の Discrete Sample (25-160 mcd: meter composite depth) を対象に予察的な岩石磁気測定を行った。

低温磁気分析の結果、Verwey 点の一部の層準で僅かに確認されたが、大部分の層準では確認できなかったため、チタンに乏しい (チタノ) マグネタイトはあまり含有されていないと推定した。また、約 117 mcd 以深の層準では約 25K に相変態点を確認されたため、ロードクロサイトが含まれていると推定した。

熱磁気分析の結果では、コア全体を通して約 400 °C に磁化の増加、約 580 °C および約 670 °C に Curie 点を確認された。しかし、低温磁気分析において Verwey 点が一部の層準を除いて確認されないことから、約 580 °C の Curie 点は (チタノ) マグヘマイトの熱分解によるものだと考えられる。これらのことから (チタノ) マグヘマイトおよび (チタノ) ヘマタイトが含まれていると推定した。

ARM は 100  $\mu$  T の直流磁場と 80 mT の交流磁場を作用させることで印加した。50-90 mcd の層準においては  $3\sim 5 \times 10^{-4}$  (A/m) 程度の一定した強い強度を示すことが確認された。それ以外の層準では強度は一定せず、 $10^{-6}$  (A/m) 程度まで弱くなる変動を示す部分も見受けられた。この傾向は 2.5 T の直流磁場により印加した IRM においても同様であり、50-90 mcd の層準では  $1\sim 3 \times 10^{-3}$  (A/m) 程度と一定した強い磁化強度を示し、それ以外の層準では一定せずに  $10^{-5}$  (A/m) 程度まで弱くなる変動を示す部分もあった。

磁気的粒度あるいは相互作用の指標となる ARM/IRM 比は、主に 0.15 および 0.05 の層準に二分され、50-90 mcd の層準では 0.15 付近の一定値を示した。磁性粒子の保磁力構成比の指標となる S 比 (-0.1T, -0.3T) においても 50-90 mcd の層準は一定値を示す傾向が確認され、S(-0.1T) では約 0.97、S(-0.3T) では約 0.98 であった。

磁化強度が比較的強く、各種岩石磁気パラメーターが比較的高い値で一定している 50-90 mcd の層準は、続成作用の影響が少なく、岩石磁気的にも比較的均質であると考えられる。したがって、この層準が古地磁気強度相対値変動の推定に適していることが示唆される。

キーワード: 地磁気, 古地磁気強度, 海底堆積物

Keywords: geomagnetic field, paleointensity, marine sediments

西部赤道太平洋の海底堆積物を用いた過去 300 万年の相対古地磁気強度変動に関する研究  
Relative paleointensity during the last 3 m.y. from sediments in the western equatorial Pacific

櫻本 晋洋<sup>1\*</sup>; 山崎 俊嗣<sup>1</sup>; 木元 克典<sup>2</sup>  
SAKURAMOTO, Yukihiro<sup>1\*</sup>; YAMAZAKI, Toshitsugu<sup>1</sup>; KIMOTO, Katsunori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

It is important to determine the strength of the past geomagnetic field for better understanding of the geodynamo. This study aims to estimate relative paleointensity of the geomagnetic field (RPI) back to about 3 Ma. Marine sediments can preserve temporally continuous paleomagnetic records. Piston core samples obtained from the West Caroline Basin (R/V MIRAI MR14-02 cruise, core PC01) were used. This area is empirically known for yielding good paleomagnetic records. Alternating field demagnetization of the natural remanent magnetization (NRM) enabled to estimate directions of the past geomagnetic field. Ages of the sediments were estimated from the magnetic polarity reversal sequence. We are also trying age estimations based on the oxygen isotope stratigraphy. The anhysteretic remanent magnetization (ARM) and the saturation isothermal remanent magnetization (sIRM) were imparted to normalize the NRM intensity for obtaining RPI. Here, the ARM was chosen for the normalizer. The result generally agrees with the previous RPI stacked curves of the last 2 m.y.. However, the RPI record seems to correlate with the ARM/sIRM ratio, which may reflect the variation in the sedimentary environment. Thus the RPI record may be influenced by environmental changes. We need to evaluate this influence for more reliable RPI estimation.

キーワード: 古地磁気強度, 海底堆積物

Keywords: paleomagnetic intensity, marine sediments

## 石垣島産サンゴ骨格における残留磁化の起源 Origin of magnetic remanence in coral skeletons in Ishigaki Island, Japan

熊谷 祐穂<sup>1\*</sup>; 中村 教博<sup>1</sup>; 佐藤 哲郎<sup>1</sup>  
KUMAGAI, Yuhō<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Norihiro<sup>1</sup>; SATO, Tetsuro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth Science, Tohoku University

Coral skeletons have an attractive potential as high-resolution recorders of the Earth's ancient geomagnetic field for the last several hundreds of years due to their long-lived and annual growth rate, but they have a general problem: 1) the magnetization of corals is very weak and 2) its origin has not been understood. Some of the corals appear to carry an excellent record of the field. Sato et al. (2014) succeeded, even using a conventional spinner magnetometer, to measure enough magnetizations of deceased coral tsunami boulders along the shorelines of Ishigaki Island where the coral reefs are grown on bedrock of Ryukyu limestone and Jurassic schist. Therefore, the in-situ coral skeleton of this Island would provide us a high-resolution paleomagnetic record if we could determine what magnetic minerals and their domain structures. However, our understanding of the magnetic mineral assemblages within coral frameworks is not well developed, because of rare abundance of magnetic particle. Previous rock-magnetic studies have reported two different results of both biogenic magnetite and abiogenic detrital titanomagnetite in late Cenozoic shallow-water carbonate platforms as the main remanence carriers at Bahamas (McNeil et al., 1988) and Tahiti (Ménabréaz et al., 2010), respectively. To determine the remanence carriers for our corals, we conducted petrologic observations of acid-treated residuals of corals by a field-emission type scanning electron microscope (FE-SEM) and revealed the presence of c.a. 80~100 nanometer rectangular-shaped individual iron oxide grains with a very short chain of them, implying the origin of biogenic magnetite. We also found some titanium iron oxides from detrital deposits transported from bedrock schist. A first order reversal curves (FORC) measurements are also conducted to confirm the magnetic mineralogy. FORC diagrams have a narrow ridge along the  $H_c$  axis with little vertical spread. The FMR spectra represent a similar form with those of magnetosome-bearing carbonates. Our results indicate that the main magnetic carriers of coral frameworks are from both bacterial and detrital fine-grained magnetite.

## 新しい磁気緩和による年代決定法の石垣島サンゴ津波石への応用 A new magnetic relaxation dating reveals tsunami ages from individual tsunamigenic coral boulders on Ishigaki Island

佐藤 哲郎<sup>1\*</sup>; 中村 教博<sup>1</sup>; 後藤 和久<sup>2</sup>; 熊谷 祐穂<sup>1</sup>; 箕浦 幸治<sup>1</sup>; 長濱 裕幸<sup>1</sup>  
SATO, Tetsuro<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Norihiro<sup>1</sup>; GOTO, Kazuhisa<sup>2</sup>; KUMAGAI, Yuhō<sup>1</sup>; MINOURA, Koji<sup>1</sup>;  
NAGAHAMA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 東北大学災害科学国際研究所

<sup>1</sup>Department of Earth Science, Tohoku University, <sup>2</sup>International Research Institute of Disaster Science (IRIDeS), Tohoku University

Information about past tsunami hazards, such as their recurrence interval and magnitude, is needed for future disaster prevention and mitigation. Tsunamigenic boulders could estimate a magnitude of tsunami waves to transport them to coastlines, but no information for recurrence intervals has been obtained. In the Ishigaki Island, Japan, there are tsunamigenic boulders consisted of the hermatypic corals. The distributions of large numbers of radiocarbon dating for these boulders determined the timing of past tsunamis. Although the radiocarbon dating is a powerful tool for estimating tsunami age for corals including radiocarbon, information for subsequent transportations of individual coral boulders and for ages of tsunamigenic igneous boulders without any trace of radiocarbon. Paleomagnetic viscous dating could overcome this problem because time-dependent viscous remanent magnetization is acquired parallel to the Earth's magnetic field after the transportation. Furthermore, Neel's thermal relaxation theory on single domain magnetite particles predicts the time-temperature relation for the viscous relaxation. Following Pullaiah et al. (1975), we can derive a time-temperature nomogram for single domain nanoparticle ensembles describing that a remanence acquired during a time at a room temperature in nature can unblock during shorter heating step at higher temperature in a laboratory. We have been applying this relation to the coral boulders in Ishigaki Island, but their emplacement ages determined from this time-temperature relation showed an older age than radiocarbon dating for the same boulders. Here, we revisited the Neel's exponential relaxation model of magnetic relaxation in order to determine the same age as radiocarbon dating by extending the previous time-temperature relation. It is considered that magnetic viscous relaxation of fine-grained magnetite is following an exponential or logarithmic function of time, but the reexamination of previously published viscous relaxation data suggested that magnetic viscous data is fit by a stretched exponential function of time. Using this stretched exponential function, we obtained a new time-temperature relation for estimating accurate tsunami ages. Combined this new relation and statistical data measured by the repeated thermal demagnetizations with a varied duration time, we succeeded to determine the same ages as radiocarbon dating for our coral boulders.

Keywords: tsunamigenic boulder, viscous remanence, time-temperature relation, stretched exponential



## Precise determination of Fe species in plagioclase crystals: a preliminary study Precise determination of Fe species in plagioclase crystals: a preliminary study

佐藤 雅彦<sup>1\*</sup>; 潮田 雅司<sup>2</sup>; 中田 亮一<sup>2</sup>  
SATO, Masahiko<sup>1\*</sup>; USHIODA, Masashi<sup>2</sup>; NAKADA, Ryoichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>東京工業大学

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology

Silicate minerals such as plagioclase and pyroxene sometimes contain fine-grained magnetite crystals; such silicates are called magnetic silicates. Magnetic silicates are ubiquitous in mafic and intermediate plutonic rocks [Dunlop and Ozdemir, 1997; Gee and Kent, 2007]. As the middle and lower crust have greater mafic composition than the upper crust [Rudnick and Gao, 2004], magnetic silicates should play an important role in controlling the magnetic properties of deep crustal rocks. For understanding the sources of magnetic anomalies, which are often originated from thick magnetized layers within the crust [Shive et al., 1992 and reference therein], it is crucial to investigate the condition of exsolution of magnetite in silicate minerals.

In this study, to precisely determine the chemical species of Fe in the plagioclase crystals, magnetic measurements combined with microscopic observation and synchrotron radiation study were conducted for single grain plagioclase crystals. We prepared the two types of plagioclase crystals from (1) the basalt (Ofunato scoria) from the Miyakejima volcano [Ushioda et al., 2014] and (2) the gabbro from the Oman ophiolite [Sato et al., submitted]. The plagioclase crystals were collected under a stereoscopic microscope and used for the measurements after a hydrochloric acid (HCl) leaching for several days.

The main series of measurements for the single grain plagioclase crystals were as follows. (1) To estimate a content of magnetic mineral in the plagioclase crystals, magnetic hysteresis loop was measured using an Alternating Gradient Magnetometer (Micro-Mag 2900, Princeton Measurements Corporation) and magnetic hysteresis parameters (saturation magnetization  $M_s$ , saturation remanence  $M_{rs}$ , coercivity  $B_c$ , and coercivity of remanence  $B_{cr}$ ) were calculated. (2) To investigate chemical compositions of the plagioclase crystals, microscopic observation was conducted using a field emission electron microprobe (JXA-8530, JEOL). (3) To investigate valence state of Fe, K-edge X-ray absorption near edge structure (XANES) spectra were measured at BL-4A of Photon Factory (PF).

The  $M_s$  value for the plagioclase crystals of the basalt and gabbro samples were  $<5 \times 10^{-4}$  Am<sup>2</sup>/kg and ca.  $1 \times 10^{-2}$  Am<sup>2</sup>/kg, respectively. Therefore, the plagioclase crystal of the gabbro contained substantial amount of magnetic minerals, while that of the basalt contained no or little magnetic mineral. Taking into account the Curie temperature of 548 °C [Sato et al., submitted], the ulvospinel content for the plagioclase crystal of the gabbro was estimated to be  $x = 0.047$  [Hunt et al., 1995] and the magnetite content was estimated to be 0.011wt%.

The microscopic observation showed that the FeO contents for the plagioclase crystals of the basalt and gabbro samples were 0.45wt% and 0.18wt%, respectively. The XANES analysis showed that the valence state of Fe for the plagioclase crystals of the basalt and gabbro samples were ca. 2.54 ( $Fe^{3+}/Fe^{2+} = 1.17$ ) and ca. 2.59 ( $Fe^{3+}/Fe^{2+} = 1.44$ ), respectively. In the case of the basalt sample, all Fe was contained in the plagioclase crystal, which is consistent with the thermal history of the Miyakejima basalt [Ushioda et al., 2014]. In the case of the gabbro sample, about 95% of Fe was contained in the plagioclase crystal and the remaining 5% of Fe was exsolved as magnetite crystals. The presence of magnetite was also suggested by the linear combination fitting of XANES spectra.

Now, our plan is to conduct high temperature heating experiment for the plagioclase crystals with varying the oxygen fugacity. On the basis of the measurements results for the samples before and after heating, we will discuss the high temperature heating effect on the Fe chemical species in the plagioclase crystals.

Keywords: Plagioclase, Magnetic silicate, Rock-magnetism, XANES

## The magnetic structure in Taiwan The magnetic structure in Taiwan

CHEN, Chun-rong<sup>1\*</sup> ; YEN, Horng-yuan<sup>1</sup> ; CHEN, Chieh-hung<sup>2</sup>  
CHEN, Chun-rong<sup>1\*</sup> ; YEN, Horng-yuan<sup>1</sup> ; CHEN, Chieh-hung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Taiwan

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Taiwan

In this study, the main focus is to construct a magnetic structure model for Taiwan. The well covered total-field geomagnetic anomaly map in Taiwan was calculated by the observed data during a series of survey at 2003-2004. A new 3D forward modeling of total-field magnetic anomaly method was applied to our calculation. We assign the susceptibility to the particular rectangular prism from the reference studies, which had defined the susceptibility from the result of Geological survey. Two profiles in West-East direction and one in North-South direction has been studied. The modeling total-field magnetic anomaly along these profiles are used to compare with the observed data and further discuss the magnetic structure along with it.

キーワード: geomagnetic, Taiwan, magnetic structure  
Keywords: geomagnetic, Taiwan, magnetic structure