

堆積物から得られる相対古地磁気強度の長期的変動は、真の地磁気変動を反映しているか？

Long-term changes of relative paleointensity from sediments: geomagnetic field behavior or rock magnetic artifact?

山崎 俊嗣^{1*}, Gary Acton², James Channell³, Emily Palmer⁴, Carl Richter⁴, 山本 裕二⁵

YAMAZAKI, Toshitsugu^{1*}, Gary Acton², James Channell³, Emily Palmer⁴, Carl Richter⁴, YAMAMOTO, Yuhji⁵

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門, ²University of California Davis, ³University of Florida, ⁴University of Louisiana, ⁵高知大学海洋コア総合研究センター

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²University of California Davis, ³University of Florida, ⁴University of Louisiana, ⁵Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

Since the 1960s, possible correlation between geomagnetic field strength and polarity length on 10^6 years or longer time scale has been suggested, and its relation to geodynamo processes has been discussed (e.g., Cox, 1968). Paleointensity estimation using single crystal silicate indicated that the geomagnetic field was stronger during Cretaceous Superchron, when polarity reversal was inhibited in geodynamo (e.g., Tarduno et al., 2001). However, it has not yet been understood well whether such correlation exists when polarity reversals frequently occur. Tauxe and Hartl (1997) suggested a weak correlation using Oligocene sediments (ca 23-34 Ma) from DSDP Site 522. This is the only continuous paleointensity data of these ages published so far.

We have conducted a paleomagnetic study of sediment cores of Eocene and Oligocene ages taken at Sites U1331, U1332, and U1333 of IODP Exp. 320/321 "Pacific Equatorial Age Transect (PEAT)". The objective includes better understanding of long-term changes in relative paleointensity and revisiting the issue of intensity-polarity length correlation. Relative paleointensity records from individual sites showed good between-site consistency for variations of 10^4 to 10^5 year time scale, suggesting that geomagnetic field behavior was successfully recovered on these time scales. The results confirmed usefulness of relative paleointensity for high-resolution inter-core correlation, that is, paleointensity assisted chronostratigraphy. On the other hand, long-term changes (ca 10^6 years or longer) in normalized intensity showed obvious anti-correlation with ARM/SIRM, a rock magnetic proxy of magnetic grain size and/or magnetostatic interactions among magnetic grains. Furthermore, the normalized intensity showed correlation with sedimentation rates. The emergence of significant correlation between normalized intensity and ARM/SIRM and sedimentation rates is not limited to PEAT cores, but occurs also in the Oligocene South Atlantic DSDP 522 cores of Tauxe and Hartl (1997). These results indicate lithological contamination to relative paleointensity records. For reliable estimation of long-term paleointensity changes from sediments, it is imperative to understand physical mechanism of such correlation and develop a method for correction.

キーワード: 古地磁気強度, 堆積物, 東太平洋, 統合国際深海掘削計画, 漸新世, 地磁気逆転

Keywords: paleointensity, sediment, east Pacific, IODP, Oligocene, polarity reversal

火山岩データによる相対古地磁気強度変動曲線の絶対値較正 Calibration of relative paleointensity variation to absolute value using paleointensity data from volcanic rocks

望月 伸竜^{1*}, 丸内 亮², 山本 裕二³, 渋谷 秀敏²

MOCHIZUKI, Nobutatsu^{1*}, MARUUCHI, Toru², YAMAMOTO, Yuhji³, SHIBUYA, Hidetoshi²

¹ 熊本大学大学院先端機構, ² 熊本大学大学院自然科学研究科, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター

¹Priority Org. for Innovation and Excellence, Kumamoto University, ²Department of Earth and Environmental Sciences, Kumamoto University, ³Kochi Core Center, Kochi University

We made a direct comparison between absolute paleointensities obtained from welded tuffs of pyroclastic flows and relative paleointensities (RPIs) from sedimentary records. Widespread tephras extruding with the welded tuffs were identified in sediments and dated in the oxygen isotope stratigraphy. Referring to the age estimates of the tephras in the oxygen isotope stratigraphy, the absolute paleointensities can be compared with RPIs of sedimentary records. For two RPI stack records reported from different oceans, we find that RPIs has a linear correlation to absolute paleointensities. On the basis of the correlations, the RPI variations were calibrated to geomagnetic field strengths (virtual axial dipole moments: VADM). The two calibrated records show an almost consistent VADM variation. The consistency indicates that this new calibration procedure is successful and it can be applicable to RPI records on the Earth.

キーワード: 相対古地磁気強度, 絶対古地磁気強度, 溶結凝灰岩, テフラ, キャリブレーション, LTD-DHT ショー法
Keywords: relative paleointensity, absolute paleointensity, welded tuff, tephra, calibration, LTD-DHT Shaw method

ブルン-松山地球磁場逆転境界の磁場構造

Refinement on geometry of Matuyama-Brunhes polarity transition from paleomagnetic records

小田 啓邦^{1*}, Fabian Karl², Roman Leonhardt³
ODA, Hirokuni^{1*}, FABIAN, Karl², Roman Leonhardt³

¹ 産業技術総合研究所, ² ノルウェー地質調査所, ³ オーストリア 気象・地球ダイナミクス中央研究所

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Geological Survey of Norway, ³Central institute for meteorology and geodynamics of Austria

The Bayesian model of the Matuyama/Brunhes (MB) geomagnetic polarity reversal was extended from the previous model IMMAB4 (Leonhardt and Fabian, 2007), which was based on one volcanic record and three sedimentary records from the Atlantic sector. The essential improvement on the model was achieved by incorporating a new volcanic record from Tahiti (Mochizuki et al., 2011). This record is unique in that it contains important absolute paleointensity data for the Pacific region, which provide new constraints for the global geomagnetic reversal scenario. The full vector development of transitional geomagnetic field in the central part of the Pacific significantly stabilized the solution in this important region, which was completely missing in the previous model IMMAB4. The sedimentary high-quality record of ODP Site 769 by Oda et al. (2000) previously was only used to check the reliability of the model IMMAB4 by comparing the VGP paths of the model and the data. An integrated sedimentary record of ODP Site 769 was developed from Oda et al. (2000) in combination with the relative paleointensity record provided by Schneider et al. (1992) and Kent&Schneider (1995). The record will also be included into the construction of the new model. Additionally, two records from the Antarctic region (Guyodo et al., 2001; Macri et al., 2010) were found, and might prove useful for further refining the model. To fulfill the aim, we have also revised the data structure, and developed a GUI based correlation software to simplify refinement of the model and further development of the scheme. In the presentation, we will show the revised morphological development of the Earth's magnetic field during the Matuyama-Brunhes polarity transition.

Keywords: geomagnetic reversal, Brunhes-Matuyama polarity transition, paleomagnetic records, Inversion, Tahiti, IMMAB4

Magnetostratigraphy and identification of the Reunion subchron from lava flows in the Dobi Cliff, Afar Depression

Magnetostratigraphy and identification of the Reunion subchron from lava flows in the Dobi Cliff, Afar Depression

安 鉉善^{1*}, Tesfaye Kidane², 正垣源¹, 乙藤 洋一郎¹

AHN, Hyeon-seon^{1*}, Tesfaye Kidane², Gen Shogaki¹, OTOFUJI, Yo-ichiro¹

¹ 神戸大・理・地球惑星, ²Earth Sci., Addis Ababa Univ.

¹Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., ²Earth Sci., Addis Ababa Univ.

We sampled 28 continuous lava flows from the 340 meters long volcanic section of Dobi cliff for paleomagnetic investigations. Four oriented blocks from each lava flow were collected; block sampling technique was employed throughout. In the laboratory, 4 to 6 standard samples for each flow were prepared and then subjected to paleomagnetic routine procedures. The samples were treated by both thermal (Th) and alternating field (AF) techniques with 13 steps for the former and up to 15 steps for the latter techniques. The average natural remanent magnetization (NRM) for the entire lava flows is determined to be 4.0 A/m, strong to record and retain the remanence of the rocks. Generally, one to two components of NRM directions were identified. The first component, which in most cases is related to remagnetization is removed by heating to a temperature of 100°C to 300°C or by an AF of 20mT. The NRM direction after these steps for most of the samples defined straight-line segments that were directed towards the origin, which is interpreted as the characteristic remanent magnetization (ChRM) Direction. In a few cases, however, stable end points were not obtained due to strong overlap between the two components of NRM. Directions of magnetizations were determined by best fit lines using the least square technique of Kirschvink (1980) for samples that showed stable linear segments where as a remagnetization circles were used to determine the best fitting great circles according to Halls (1976, 1978). Site mean directions were then calculated by using Fischer (1953) statistics for stable linear segments while McFadden and McElhinny (1988) statistics was used for combined analyses of planes and lines. The overall mean direction calculated for the 28 lava flows is $D = 6.0^\circ$, $I = 12.5^\circ$, $\alpha_{95} = 5.9^\circ$, $N = 28$, which when compared with the expected mean dipole field, obtained from the Apparent Polar Wander Path (APWP) curve for Africa (Besse and Courtillot, 2003), $D = 1.0^\circ$, $I = 20.9^\circ$, $\alpha_{95} = 2.3^\circ$, $N = 26$, a declination difference $dD = 5.0^\circ \pm 5.2^\circ$ and inclination difference of $dI = 8.4^\circ \pm 5.1^\circ$ were obtained. These declination and inclination differences are interpreted respectively as vertical axis block rotation linked to rift propagation and overlap, and as the effect of long standing non-dipole field in Afar (e.g. Kidane et al., 2003). When the site mean directions are vertically plotted in accordance with the sequence of lava flow positions, magneto-zones of Reversed (R1) - Normal (N1) - Reversed (R2) - Normal (N2) polarities were identified from bottom to top with anomalous directions at the base of the section. K/Ar radioisotopic age determinations, made at the geochronology laboratory at the Research Institute of Natural Science, Okayama University of Science for three stratigraphic positions in the Dobi section, reveal ages of 2.12 ± 0.09 Ma and 2.21 ± 0.07 Ma at the N1, and 1.93 ± 0.07 Ma at the N2 respectively. Using these ages and the geomagnetic polarity timescale (GPTS) of Cande and Kent (1995), we correlate the bottom anomalous inclinations and the N1 polarity interval with the Reunion subchron while the N2 polarity interval is correlated with the Olduvai subchron.

Keywords: Afar depression, magnetostratigraphy, Reunion subchron, Ethiopia

インドシナ半島の Simao Arc の形成の様子を古地磁気学からさぐる Oroclinal origin of the Simao Arc in the Shan-Thai Block inferred from the Cretaceous palaeomagnetic data

近藤 昂一郎¹, 山本起大¹, 三浦 大助^{2*}, 乙藤 洋一郎¹, 横山昌彦¹, Hyeon-Seonh AHN¹, Chuanlong MU³, Haider ZAMAN⁴
Koichiro KONDO¹, Tatsuhiro YAMAMOTO¹, MIURA, Daisuke^{2*}, OTOFUJI, Yo-ichiro¹, Masahiko YOKOYAMA¹, Hyeon-Seonh AHN¹, Chuanlong MU³, Haider ZAMAN⁴

¹神戸大学理学研究科, ²電力中央研究所・秋葉研究所, ³Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources (CGS), ⁴Department of Geology and Geophysics, College of Science, King Saud University,

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kobe University, Kobe, Japan, ²Abiko Research Laboratory, CRIEPI, ³Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources (CGS), ⁴Department of Geology and Geophysics, College of Science, King Saud University,

An active oroclinal bending is discovered in the Shan-Thai block to the south of the eastern Himalayan syntaxis. To investigate the evolution of the Simao Arc using paleomagnetic techniques, Middle Cretaceous red beds of the Nanxin Formation were sampled at the Zhengwan (22.8N, 100.9E) and Dadugang (22.4N, 101.0E) localities in the southern Simao Basin. Most of the studied samples revealed the presence of characteristic remanent magnetization with unblocking temperatures around 680C. A primary nature for this magnetization is interpreted based on a positive fold and reversal test. Tilt-corrected mean directions calculated for Zhengwan and Dadugang localities are characterized by large easterly deflected declination; Dec= 51.8, Inc = 47.9, ks= 45.0, ?95 = 6.9, N=11 and Dec= 64.1, Inc = 48.1, ks = 36.0, ?95 = 7.3, N=12, respectively. Steep inclination values at both these localities with respect to the expected one are in the range previously reported from the Shan-Thai Block, confirming their southward displacement as part of the Shan-Thai Block. Combination of the present data (2 localities) with those previously reported from Simao basin (7 localities) reveals a positive paleomagnetic oroclinal test, indicating that the arc-like present-day geometry of the Simao basin was formed by oroclinal bending. Comparison with recent GPS and structural data suggest that formation of the Simao curvature started after the early Pliocene (after 4 Ma) and continuing until the present. Origin of the Simao Arc is ascribed to southwestward movement of the crustal material across the Ailaoshan Red River Fault (around the eastern Himalaya syntaxis), which was accomplished by westward movement of the decollement with progressive eastward deepening of the Lanping-Simao basin. Decoupling between the upper and the middle-lower crusts associated with decollement formation is requisite condition for the arc formation on continents.

キーワード: テクトニクス, 古地磁気, 白亜紀, インドシナ半島, 東南アジア

Keywords: tectonics, paleomagnetism, oroclinal bending, Cretaceous, Indochina, SE Asia

南太平洋低中緯度域における遠洋性粘土の環境磁気学的研究 Environmental rock-magnetism of pelagic clay from the South Pacific Ocean since the Pliocene

下野 貴也^{1*}, 山崎 俊嗣²

SHIMONO, Takaya^{1*}, YAMAZAKI, Toshitsugu²

¹筑波大・生命環境・地球進化, ²産総研・地質

¹University of Tsukuba, Japan, ²GSJ, AIST

We conducted a rock-magnetic study of pelagic clay in order to document variations of eolian dust input to the South Pacific Ocean since the Pliocene. The materials studied consist of four pelagic clay cores of about 10 meters long taken from the central to margin of the South Pacific Gyre. Three out of four cores were taken during IODP Expedition 329 at sites U1365, U1366 and U1367, and the other core was GH83-3 P398, within range from latitude 14-27°S and longitude 138-165°W.

We measured magnetic properties (magnetic susceptibility, NRM with stepwise alternating-field demagnetization, acquisition of ARM and IRM, low-temperature IRM) using discrete samples. In addition, magnetic hysteresis, IRM acquisition and first order reversal curve (FORC) measurements (Pike et al., 1999; Roberts et al. 2000) were conducted using an alternating gradient magnetometer (AGM) to characterize magnetic mineral assemblages in the samples. We estimated variations in the proportion of terrigenous to biogenic components.

The $X_{ARM}/SIRM$ ratio and $S_{-0.1T}$ (relative abundance of middle and high coercivity magnetic minerals) of the four pelagic clay cores decreased synchronously before Gauss-Matuyama boundary. The variation of $X_{ARM}/SIRM$ ratio and $S_{-0.1T}$ with time and region can be explained by that eolian dust has higher (lower) maghemite (magnetite) concentration than other sources of magnetic minerals.

キーワード: 古地磁気学, 環境磁気学, 遠洋性粘土, IODP Exp.329, 南太平洋, GH83-3

Keywords: Paleomagnetism, Environmental rock-magnetism, Pelagic clay, IODP Exp.329, the South Pacific Ocean, GH83-3

キアマスーパークロン時の地球磁場：タリム盆地の玄武岩から Paleomagnetism of Kiaman-aged basalts from the Tarim Basin

臼井 洋一^{1*}, 田偉²
USUI, Yoichi^{1*}, Tian Wei²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 北京大学

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Peking University

多くのダイナモシミュレーションはスーパークロンの原因を核 - マントル間の熱フラックス低下としているが、この説明はマントルブリューム活動期に起こった白亜紀スーパークロンとは整合しにくい。一方キアマスーパークロン(約3.1-2.6億年前)は、プレート沈み込みが少ない超大陸期に起こっており、白亜紀スーパークロンと比べ、シミュレーションとより直接的に比較できる可能性がある。キアマスーパークロン時の地球磁場情報を得るため、中国・タリム盆地北部において2.9億年前の玄武岩を採取し、古地磁気測定を行った。まず、試料の磁化年代を推定した。段階消磁実験は明瞭な磁化成分を分離し、先行研究で近隣地域より報告されたペルム紀の古地磁気方位と調和的な方位を得た。ただし、タリム盆地においては石炭紀から現在までの古地磁気極が類似しているため、この結果から磁化年代を推定することは難しい。そこで、溶岩流に挟まれる粗粒砂岩を対象に、顕微鏡的礫岩テストを行った。玄武岩岩片を含む砂岩の薄片を作成し、走査型MI顕微鏡により表面磁場を観察した。表面磁場の外観は各岩片がランダムな磁化方位を持っていることを示唆し、玄武岩試料は初生磁化を保持していると考えられそうである。発表では古地磁気強度の推定も報告する予定である。これまでのところ、1試料からテリ工法により16.8 uTの強度を得た。この結果が本当なら、キアマスーパークロン時の古地磁気強度は現在の半分以下であり、白亜紀スーパークロンよりもかなり低い。しかし、顕微鏡観察から多磁区サイズの鉄酸化物の存在が明らかであるため、珪酸塩単結晶測定により細粒磁性鉱物を選択的に測定することを試みる。

キーワード: スーパークロン, ペルム紀, 超大陸, 磁気顕微鏡

Keywords: superchron, Permian, supercontinent, magnetic microscopy

広帯域磁化率スペクトルの応用 I: SP 粒子のサイズ分布

Application of broad-band frequency spectrum of AC magnetic susceptibility: Grain-size distribution of SP particles

小玉 一人^{1*}

KODAMA, Kazuto^{1*}

¹ 高知大学海洋コア総合研究センター

¹ Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

弱磁場中の交流磁化率 (Low-field Alternating Current Magnetic Susceptibility, 以下 MS) は、Bartington 磁化率計や KappaBridge など市販測定器の普及によって、岩石鉱物磁気の基礎研究から環境磁気学などの応用研究まで広範な分野で活用されてきた。しかし、これら市販機器の測定方法や性能に由来する制約、特に設定可能な磁場周波数の制限により、MS という基礎的磁性が本来もたらす多くの情報を活用できていない。例えば Bartington 磁化率計では、470 Hz と 4.7 kHz の高低 2 周波数しか設定できないため、単純な仮定をもとにした半定量的な議論しかできなかった。その代表的な例が、SP 粒子のサイズと MS 周波数依存性の関係である。本報告では、これまでにない広い周波数帯域の MS 測定結果をもとに、磁気緩和理論および SP 粒子の岩石磁気理論にもとづく新たな SP 粒子サイズ分布推定法とその適用例を紹介する。

測定に用いた磁化率計は、ZH Instruments 製の SM-100 および 105 磁化率計である。前者は低周波数用 (0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 kHz)、後者は高周波数用 (16, 32, 64, 128, 256, 512 kHz) で、双方計 13 段階の可変周波数測定を行った。印加磁場強度は 80-320 A/m までの 8 段階可変、本研究では 80 A/m 固定とした。測定試料は、SP 粒子を主として含むとされる中国黄土高原 (Luochuan section) の黄土 (loess)・古土壌 (paleosol)、および Tiva Canyon tuff (TC04-11) を用いた。その他の岩石磁気パラメータ測定は、VSM (MircoMag 3900) および MPMS によった。粒子サイズ分布 (Grain size distribution; GSD) を推定するためのモデルは、相互作用のない SD 粒子集団を前提とした Neel 超常磁性理論にもとづく。これに、磁化率と緩和時間・交流周波数の関係に対する適切な近似をおこない、測定された磁化率スペクトルの差分から GSD を求める方法を開発した。ただし、粒子の異方性エネルギーは形状異方性エネルギーのみとし、その分布は仮定していない。測定された磁化率スペクトルはすべて、周波数増加にともなって減少する共通パターンをもつ。これは SP 粒子の周波数依存性の一般的特徴であるが、詳しく見ると試料ごとに減少割合が異なる。この変化率をもとにモデル計算して得られた GSD の体積分布範囲は、 $0.5\text{-}3\times 10^{-24}\text{ m}^3$ と比較的狭いが、その分布形状は試料の種類ごとに特徴がある。Tiva Canyon tuff が最も分布が鋭く、 $2\times 10^{-24}\text{ m}^3$ あたりに中心値をもつ対数正規分布的形状を示す。中国古土壌の GSD 範囲も Tiva Canyon tuff とほとんど重なるが、明確なピークは見られない。このことから、古土壌の GSD はこれまでの推定 (例えば, Liu et al., 2005) よりも SD 側に広い分布範囲をもつことがわかる。これに対し、黄土試料の GSD 範囲は $1\times 10^{-24}\text{ m}^3$ 以下で最も細粒である。その磁化率強度自体が古土壌より一桁程度小さいことを反映して、分布強度はより小さく分布範囲も狭い。古土壌と比較して高い保持力をもつことから、maghemite あるいは hematite のナノサイズ粒子の存在を示唆する。

キーワード: 岩石磁気, 交流磁化率, 粒子サイズ分布, 超常磁性

Keywords: rock magnetism, AC susceptibility, grain size distribution, superparamagnetism

Basic properties of transition remanent magnetizations due to the Verwey transition of magnetite

Basic properties of transition remanent magnetizations due to the Verwey transition of magnetite

佐藤 雅彦^{1*}, 宮川 剛¹, 望月 伸竜², 綱川 秀夫¹

SATO, Masahiko^{1*}, MIYAGAWA, Takeshi¹, MOCHIZUKI, Nobutatsu², TSUNAKAWA, Hideo¹

¹Tokyo Institute of Technology, ²Kumamoto University

¹Tokyo Institute of Technology, ²Kumamoto University

Nagata et al. (1963) found that synthetic stoichiometric magnetite (Fe₃O₄) acquired a fairly intense and stable remanent magnetization by warming in a magnetic field from -150 C to room temperature, called transition remanent magnetization. It is worth noting that while ordinary thermoremanent magnetization (TRM) is demagnetized by heating treatment, the magnetite acquired remanence during heating from low-temperature to room temperature. Ozima et al. (1963), Ozima and Ozima (1965), and Creer and Like (1967) further investigated the transition remanence.

Dunlop (2006, 2007) studied a suite of experiments using crushed magnetite sample with various grain sizes and reported interesting features as follows: (1) A remanence was acquired not only during warming from 77 to 300 K (transition warming remanent magnetization, TrWRM) but also during cooling from 300 to 77 K in a magnetic field (transition cooling remanent magnetization, TrCRM). (2) Various sizes of magnetite ranging from 0.6 to 135 μm (PSD-MD) acquired the remanences. (3) TrWRM has similar thermal demagnetization curve with 400C -T₀ and 500C -T₀ partial TRMs.

The acquisition processes of transition remanences are non-destructive and easily treat as bulk sample (e.g., one-inch core). Moreover, the remanences have the potential to reflect the information concerning low-temperature properties of magnetite. Therefore, we conducted systematic experiment using natural rock samples containing nearly stoichiometric magnetite, to understand the basic properties of the transition remanent magnetization. Depending on a magnetic field condition during cooling and warming cycle, we defined three transition remanences: (1) TrWRM, acquired during zero-field cooling (ZFC) and field warming (FW), (2) TrCRM, field cooling (FC) and zero-field warming (ZFW), and (3) transition cycle remanent magnetization (TrRM), FC and FW.

We prepared natural granite samples containing nearly stoichiometric magnetite. The samples were collected at five sites (SH03, SH09, SH29, SH49, and SH59) of the Scared Heart granite in Minnesota River Valley (Minnesota, USA). Two cylindrical core-samples of one-inch diameter (SH03-A and SH03-B) and small chip-sample of mineral assemblage were cut from the SH03 block, while fourteen core-samples were cut from SH09, SH29, SH49, and SH59 blocks.

The transition remanences were imparted to the SH03 core-samples by cooling to liquid N₂ temperature (77 K) and warming back to room temperature in a DC (or zero-) field. We conducted stepwise alternating field (AF) demagnetization of the transition remanences, anhysteretic remanent magnetization (ARM), and low-temperature demagnetization (LTD) component of ARM. Magnetizations of SH03 chip-sample were continuously measured at 10-300 K with an MPMS. The TrWRM, TrCRM, and TrRM acquisition cycles were measured in the same procedures as those of the core-sample experiments.

TRMs were imparted for the fourteen core-samples of SH09, SH29, SH49, and SH59 by heating from room temperature to 610 C and cooling back to room temperature in a 50 uT field. After LTD treatment, TrRMs were given for each sample by cooling and warming in a 100 uT field. Then the ratio of LTD component of TRM and TrRM were estimated.

Based on the core-sample experiment, basic properties of the transition remanent magnetizations due to the Verwey transition are revealed as follows: (1) Directions of the remanences are parallel to directions of the ambient field (parallelism). (2) Intensities of the remanences are proportional to the weak magnetic field (proportion rule). (3) Median destruct fields (MDFs) are in the order corresponding to TrRM, TrWRM, and TrCRM. (4) Calculated values of TrWRM + TrCRM are well agree with TrRM in intensities and AF decay curves. Together with the results of chip-sample and TRM/TrRM acquisition experiments, we will discuss the detailed properties of the transition remanent magnetizations.

キーワード: transition remanent magnetization, magnetite, Verwey transition

Keywords: transition remanent magnetization, magnetite, Verwey transition

地球ダイナモモデルにおける西方移動、ねじれ振動およびジャーク Westward drift, torsional oscillations and jerks in a numerical geodynamo model

櫻庭 中^{1*}

SAKURABA, Ataru^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹ School of Science, University of Tokyo

Recent high-resolution, low-viscosity geodynamo simulations have shed a new light on the origins of geomagnetic secular variations of time scales shorter than the convective turnover time (about 500 years in the Earth's liquid outer core). Here I report some results of my ongoing project to physically explain relatively short time-scale secular variations such as geomagnetic westward drift and jerks. I performed geodynamo simulations using the Ekman number of 5×10^{-7} and the magnetic Prandtl number of 0.2 (Sakuraba and Roberts, 2009). These parameters are far away from those of the Earth's core but are hopefully small enough to investigate some basic features of magnetohydrodynamic (MHD) flows of low-viscosity rotating fluids. In this model, there are several strong magnetic flux patches in the low-latitudes on the core-mantle boundary (CMB), moving westward with the angular velocity close to that of the thermal-wind-type westward flow beneath the CMB. The azimuthal wavenumber (m) of the low-latitude flux patches is 5 to 7, which roughly coincides with the recent core-surface field estimated by Finlay and Jackson (2003). However, if scaled by the magnetic diffusion time, the angular velocity is too slow because the magnetic Reynolds number is not so large (about 200). This suggests that it is better to scale the time by the convective turnover time. Fourier analysis indicates that the drift angular velocity depends on both m and the latitude. The higher-wavenumber components ($m > 5$) coherently move with the westward flow in the low-latitudes and the amplitude becomes weak in the high-latitudes. The lower-wavenumber components of $m=1$ and 2 show an intermittent feature in the low-latitude and sometimes move eastward, indicating existence of MHD waves. In the high-latitudes, there is a tendency that the field pattern, dominated by low-wavenumber components, moves eastward because the tangent cylinder rotates eastward in my model. I suggest that the Fourier analysis (not the spherical harmonic analysis) of the geomagnetic secular variation gives insight into the origin of the westward drift and the dynamics of the core convection. The torsional oscillations signify oscillatory motions of axial cylinders inside the fluid core that are propagated along the cylindrically radial (the s -) direction with the Alfvén speed, which is considered to be much greater than the flow speed. The numerical model clearly shows the torsional waves traveling both inward and outward. There is a slight asymmetry between the ingoing and outgoing waves, suggesting the locality of the excitation source. The power spectrum of the wave motion at a constant radius indicates a tendency that longer-period waves contain greater power, but the propagation speed of those significant components are slower than the theoretically expected Alfvén speed. The Alfvén-type torsional waves have periods close to or shorter than the convective turnover time. The model also shows clear jerk-like secular variations if observed at the planet's surface. Small-amplitude jerks occur frequently and large-amplitude ones scarcely. Jerks are largely explained by the changes of the core-surface magnetic field of $1 < m < 7$. Presently, I try to understand the mechanism that creates jerk-like zigzag pattern in secular variations. The small-amplitude frequent jerks seem to be explained by the field disturbance due to torsional waves, as has been indicated by Bloxham (2002).

キーワード: 地磁気, 永年変化, 磁気流体力学

Keywords: geomagnetic field, secular variation, magnetohydrodynamics

二重拡散対流と安定成層を考慮した地球ダイナモモデル A geodynamo model with double diffusive convection and stable stratification

高橋 太^{1*}

TAKAHASHI, Futoshi^{1*}

¹ 東京工業大学大学院地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Tech

In the Earth's fluid outer core, thermal convection is driven by superadiabatic temperature gradient due to internal heating and latent heat release at the inner core boundary, while compositional convection is fed by chemical buoyancy arising from inner core crystallization. In order to examine effects of co-existence of different driving sources of convection on dynamo action, double diffusive convection should be adopted by solving heat and compositional transport equations separately. In such a case, different diffusivities of heat and composition should be taken into consideration.

A stably stratified layer at the top of the Earth's outer core is inferred from seismic wave observations. The stratified layer is likely to be a result from light element accumulation due to inner core growth. The thickness of the stratified layer is estimated to be roughly O(100) km, which may be thick enough to affect convection and also dynamo action in the core, because the Ekman and thermal boundary layers are much thinner. In numerical dynamo models, the effects of the stratified layer is examined mostly by adopting the codensity approach. Codensity is modeled based on an assumption that thermal and compositional diffusion coefficients are equal because of turbulent diffusion, which should not hold in a stratified region. Thus, an approach of double diffusive convection is more suitable to investigate effects of the stably stratified layer.

Here, we perform a numerical study on convection-driven dynamo in a rotating spherical shell to explore the effects of different thermal and compositional state of the Earth's core. We take two effects into account in our numerical dynamo modeling: co-existence of thermal and compositional sources of convection, and stably stratified layer at the top of the core. Effects of the layer on convection and dynamo action with double diffusive convection are examined and will be reported.

キーワード: ダイナモ, 二重拡散対流, 安定成層

Keywords: dynamo, double diffusive convection, stable stratification

Effects of heterogeneous boundary from mantle convection modeling in dynamo simulations in a rotating spherical shell Effects of heterogeneous boundary from mantle convection modeling in dynamo simulations in a rotating spherical shell

中川 貴司^{1*}

NAKAGAWA, Takashi^{1*}

¹ 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹IFREE, JAMSTEC

Numerical dynamo simulations in a rotating spherical shell with boundary heterogeneity at the top are used to investigate the possibility of dynamo solutions with the heat flux heterogeneity inferred from numerical thermo-chemical mantle convection simulations. Here we focus on the possibility to find the dynamo solutions with huge value of amplitude of heat flux heterogeneity and correlation between CMB and ICB heat flux. In order to evaluate boundary heterogeneity from mantle convection models, five scenarios are prepared: 1. Thermally uniform CMB, 2. CMB heat flux converted from seismic tomography based on Amit and Choblet [2009] ($q^* = 0.5$), 3. CMB heat flux calculated from numerical mantle convection with recycled basalt, 4. CMB heat flux including the effect of continental lithosphere and 5. CMB heat flux including both effects of continental lithosphere and compositionally-distinct material in the CMB region. With thermally uniform and heat flux heterogeneity inferred from seismic tomography cases, the dipolar magnetic field is found at the top boundary and correlation between CMB and ICB heat flux seems to be good, which has been inferred from other study [Gubbins et al., 2011], because, for the tomographic case, the amplitude of heterogeneity is small so that the dipolar solution can be found. For cases of CMB heat flux calculated from numerical mantle convection simulations, the dynamo action is found with large amplitude of heat flux heterogeneity but not dipolar solution. Strong patches of magnetic field corresponding to large amplitude of CMB heat flux are found. The correlation between CMB and ICB heat fluxes is lower than for uniform and tomographic models. This means that the ICB heat flux does not tend to be the transparency of CMB heat flux. Since the heat flux heterogeneity inferred from numerical mantle convection is likely to be larger than the expected value from numerical dynamo simulations [Nakagawa and Tackley, 2008], the possible magnetic field features at the CMB seem to be more complicated than the expected.

キーワード: ダイナモシミュレーション, コア-マントル境界, 内核-外核境界, マントル対流, 熱不均質

Keywords: dynamo simulation, core-mantle boundary, inner core boundary, mantle convection, heat flux heterogeneity

CMBにおける熱的水平不均質構造に敏感な古代ダイナモ Ancient dynamos more sensitive to core-mantle boundary heat flows

堀 久美子^{1*}, WICHT, Johannes², DIETRICH, Wieland²
HORI, Kumiko^{1*}, Johannes Wicht², Wieland Dietrich²

¹ 国立環境研究所, ² マックスプランク太陽系科学研究所

¹National Institute for Environmental Studies, ²Max-Planck Institute for Solar System Research

地球および火星の初期ダイナモは、内核が存在しないコア内で駆動されていたと考えられている。したがって、そこでの対流の駆動源は主に、永年冷却および放射性元素による加熱だったと考えられる。一方、現在の地球ダイナモでは、内核の固化に伴う潜熱や軽元素の放出が、主な浮力源であると考えられている。

地球ダイナモにおける内核の成長の影響はながく議論されてきているが、未だ明らかではない。古地磁気や熱史計算に基づく先行研究でその影響が提唱されたが、近年の数値ダイナモ計算では、その影響は弱いだろうことが示されてきている。

火星に関していうと、マーズグローバルサーベイヤーによる観測により、火星地殻の残留磁化に強い南北二分性があることが明らかになった。この成因の一つとして、古代ダイナモによる説があげられている。下部マントルの影響によりCMBに熱的水平不均質構造が形成され、それによって強制された古代ダイナモが、南北二分性をもつような磁場を生成した、という説である。しかし、ここでの一つの問題は、このようなダイナモがどの程度簡単に起こりうるか、という点である。

本研究では、内核が存在しないときのダイナモが、内核が存在するときと比べて、CMBにおける熱的水平不均質構造に対し敏感である、ということを示す。水平不均質な熱的境界条件を与えられた対流駆動型MHDダイナモにおいて、対流の浮力源が永年冷却および放射性元素による加熱の場合（内部発熱型）と内核に伴う潜熱の放出の場合（下部加熱型）とで比較を行った。その結果、内部発熱型のダイナモでは、より小さいCMB熱的水平不均質によって、流れ構造および磁場強度が変化することがわかった。この結果は、古代地球または火星における磁場の強度や構造が、内核の成長が始まった後のものと比べて、CMBにおける熱的境界条件により敏感であり、より変化しやすかったであろうことを示唆する。

回転球殻ダイナモに対する緯度方向不均一な内側浮力フラックス境界条件の影響 Effects of latitudinally heterogeneous buoyancy flux conditions at the inner boundary on MHD dynamo

佐々木 洋平^{1*}, 竹広 真一², 西澤 誠也⁴, 中島 健介³, 林 祥介⁴

SASAKI, Youhei^{1*}, TAKEHIRO, Shin-ichi², NISHIZAWA, Seiya⁴, NAKAJIMA, Kensuke³, HAYASHI, Yoshi-Yuki⁴

¹ 京大・数学, ² 京大・数理研, ³ 九大・理学・地球惑星, ⁴ 惑星科学研究センター

¹Dept. Math., Kyoto Univ., ²RIMS., Kyoto Univ., ³Dept. Earth Planet. Sci., Kyushu Univ., ⁴Center for Planetary Science

地球固有磁場の生成維持に寄与しているであろう外核中の流れは、地球全体の冷却に伴い内核が固化成長する際の主成分の鉄およびニッケルの選択的な凝結により内核-外核境界 (ICB) へ放出される軽成分の浮力により生じると考えられている。一方で、近年の地震波観測から内核の結晶構造の異方性が明らかとなっており、その有力な成因として内核内部の流体運動が考えられるようになってきている (Karato, 1999; Yoshida et al., 1996; Takehiro, 2010)。考えられている内核中の流れ場の典型的なパターンは、極から赤道あるいは赤道から極へ向かう軸対称なものである。このような流れ場が存在すると、内核 - 外核境界を通しての質量フラックスを伴うため、境界表面における液体鉄の凝結過程に影響し、結果として境界面で生じる浮力に緯度方向の不均一が生じることが予想される。

そこで本研究では、緯度方向に不均一な浮力 (軽成分) フラックスを ICB にて与えた場合に外核中のダイナモ過程がどのような影響を受けるかを、3次元回転球殻ブシネスク磁気流体モデルを用いた数値実験を通して調べてみた。内核は外核の流体と同じ密度と磁気拡散率を持つ電気伝導性の剛体であるとし、マンツルの回転軸と同じ軸で異なる回転角速度で剛体的に回転することを許容した。外核の流れ場に対しては境界で滑り無し条件を課した。浮力境界条件は、外側境界において浮力フラックスが 0 である条件を与えた。一方で、内側境界で与える浮力フラックス分布は、一様浮力フラックスに加えて球面調和関数 Y_2^0 の分布を与えた。無次元パラメータは、内径外径比を 0.35、プランドル数を 1、エクマン数を 10^{-3} に固定し、磁気プランドル数 Pm を 1 から 10、修正レイリー数 Ra を 100 から 500 まで変化させた。内側球面での浮力フラックスは、1) 緯度方向に一様な分布、2) 赤道で強く極域で弱い浮力フラックス分布、3) 極域で強く赤道域で弱い浮力フラックス分布、の 3 通りをアツかつた。

最初に磁場の存在しない静止場に対して 1 点軽成分濃度擾乱を与えて対流計算を実行し、対流構造が統計的平衡状態に達した後には双極子磁場を球殻中に付与して MHD ダイナモ計算を行った。磁場の影響のない発達した対流の流れ場には平均帯状流の分布を除いて大きな違いは見られなかった。しかしながら、MHD ダイナモ計算では磁場の発達維持の状態に大きな差があらわれた。一様内側浮力フラックスの場合、および赤道域で強い内側浮力フラックスの場合には自立的に磁場が発達維持される解 (ダイナモ解) が得られた。 $Ra=300$ の場合にもっともダイナモ解が発達維持しやすく、 Pm が 3 以上の場合にダイナモ解が得られた。これよりもレイリー数を大きくしても小さくしてもダイナモ解が成立しづらくなり、 $Ra=100$, 500 の場合には $Pm = 10$ でないダイナモ解が得られなかった。これに対して、極域で強い内側浮力フラックスを与えた場合には計算したパラメータ範囲ではダイナモ解が得られなかった。このような磁場の発達維持の違いには、浮力フラックス緯度分布の違いに伴う平均帯状流の差異が影響していると考えられる。特に、極域で強いフラックスを与えた場合には温度風バランスを通じて赤道内球付近での平均帯状流の向きが逆になり、強いシア層が形成されている。このシア層が対流カラムを引き伸ばし、局在化を妨げているのかも知れない。

極域で強いフラックスを与えた場合にダイナモ解が成立しなかったことは、地球内核内部での流れの向きを示唆しているかも知れない。強い地球磁場が生成維持されるためには極域に集中した浮力フラックス分布は適当でないかも知れないからである。このことは、内核内部での軸対称的な流れが、すくなくとも極域から赤道への向きにはなっていないことが推測される。しかしながら、調べたパラメータは現実の地球中心核のものとはかなり差があるので、より広いパラメータでの調査が必要である。

参考文献:

Karato, S., Nature, 402 (1999), 871–873.

Yoshida, S., Sumita, I., Kumazawa, M., J. Geophys. Res., 101 (1996), 28085–28103.

Takehiro, S., Phys. Earth Planet. Inter., 184 (2011), 134–142.

キーワード: 内核異方性, 内核流れ, 浮力フラックス不均一, 組成対流, MHD ダイナモ

Keywords: Inner core anisotropy, Inner core flows, Heterogeneous buoyancy flux, Compositional convection, MHD dynamo

地球コア内における非等方熱拡散率と熱的境界条件の影響

Effects of thermal boundary condition and anisotropic thermal diffusivity in the Earth's core

松島 政貴^{1*}

MATSUSHIMA, Masaki^{1*}

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

Very small molecular viscosity of the Earth's core fluid gives rise to small-scale fluid motions, which are highly anisotropic because of the Earth's rapid rotation and a strong magnetic field. As a result, a large-scale diffusive process is to be enhanced by such flows in the core. This suggests that a thermal eddy diffusivity should not be a scalar but a tensor. We have been carrying out numerical simulations of magnetohydrodynamic (MHD) turbulence in a rapidly rotating system to investigate the effect of anisotropy on dynamics in the core, by prescribing elements of anisotropic thermal diffusion tensor.

It has been found that a certain degree of anisotropy has an insignificant effect on the character, like kinetic and magnetic energy, of magnetoconvection in a small region with periodic boundaries in the three-directions. However, in a region with top and bottom rigid boundary surfaces, the same degree of anisotropy can enhance kinetic and magnetic energy in magnetoconvection depending not only on prescribed anisotropic tensor diffusivity but also on location of the computational region expressed in terms of direction of gravity, or latitude. That is, anisotropic tensor diffusivity, consequent on the anisotropy of turbulent flows, affects dynamics in the core near the boundary surfaces depending on the latitude. We have so far imposed a fixed temperature boundary condition, but the argument above suggests that different thermal boundary condition may influence the dynamics in the core. We examine kinetic and magnetic energy in magnetoconvection for a fixed heat-flux boundary condition.

Keywords: anisotropic diffusivity, magnetoconvection, Earth's core

上部白亜系蝦夷層群羽幌川層の古地磁気層序 Magnetostратigraphy of Upper Cretaceous part of Yezo Group

橋本 伸也^{1*}, 望月 伸竜², 小松 俊文¹, 辻野泰之³, 大野 正夫⁴, 渋谷 秀敏¹

HASHIMOTO, Shinya^{1*}, MOCHIZUKI, Nobutatsu², KOMATSU, Toshifumi¹, Yasuyuki Tsujino³, OHNO, Masao⁴, SHIBUYA, Hidetoshi¹

¹ 熊本大学自然科学研究科, ² 熊本大学大学院先端機構, ³ 徳島県立博物館, ⁴ 九州大学大学院比較社会文化学府

¹ Department of Earth Sci., Kumamoto Univ., ² Pri., Org., Inn., & Exc., Kumamoto Univ., ³ Tokushima Prefectural Museum,

⁴ Faculty of Social and Cultural Studies, Kyushu Univ.

北海道古丹別地域に分布する上部白亜系蝦夷層群の羽幌川層について古地磁気学的研究を行った。本地域にはサントニアン-カンパニアン (Sn/Cm) 境界が存在すると期待されるが、この境界の指標となる *Marsupites* 類が日本では産出しないので、対比が難しくなっている。Sn/Cm 境界は、白亜紀スーパークロン末の地磁気逆転に年代が極めて近いので、磁気層序的な対比が有効であると考え、測定を行った。

試料は古丹別川本流沿いの露頭、および支流の上ノ沢・中ノ沢沿いの露頭から、エンジンドリルを用いて計 15 サイトで採取した。特に本研究では、露頭の脆弱さ等から起こる方位の不安定性、試料採取の困難性を解消することを目的として、露頭中に含まれる石灰質ノジュールを試料として用いた。

岩石磁気学的研究として、複数の試料に対して IRM 獲得実験、三軸 IRM 段階熱消磁実験、磁気履歴分析を行い、主要な磁性鉱物がマグネタイトであることがわかった。また、ピロタイトの存在も示唆された。また磁気履歴分析による Day Plot では全ての試料が PSD 領域にプロットされた。

NRM の測定には、九州大学の超伝導磁力計を用い、全サイトのパイロット試料に対して段階交流消磁 (PAFD) 及び段階熱消磁 (PTHD) を行った。PTHD においては、ほとんどの試料に関して、300~400 近辺から熱変質の影響と思われる著しい磁化の増加が確認された。このことから PAFD を採用し古地磁気方位を得た。

得られた古地磁気方位を吟味した結果、古丹別川、及び上ノ沢の両露頭の対応する層準で (対馬ほか (1958) による Ug 層上部) で正帯磁から逆帯磁への極性の変化が見られた。この極性の変化を白亜紀スーパークロンの終期に対比させると、Sn/Cm 境界はこの層準のやや上位に存在すると考えられる。

キーワード: 古地磁気層序, 石灰質ノジュール, サントニアン-カンパニアン境界, 上部白亜系蝦夷層群, 古丹別地域

Keywords: Magnetostратigraphy, Calcareous nodules, Santonian - Campanian stage boundary, Upper Cretaceous Yezo group, Kotanbetsu area

石垣島産津波石の古地磁気からみる堆積記録

Paleomagnetic depositional history of Tsunami boulders at Ishigaki Island, Japan

佐藤 哲郎^{1*}, 中村 教博², 長濱 裕幸², 箕浦 幸治²

SATO, Tetsuro^{1*}, NAKAMURA, Norihiro², NAGAHAMA, Hiroyuki², MINOURA, Koji²

¹ 東北大学理学部地圏環境科学科, ² 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹Department of Science, Tohoku Univ., ²Graduate School of Science, Tohoku Univ.

Boulders at Miyara Bay, Ishigaki Island, Japan consisted of hermatypic coral, *Porites* are known to have deposited due to the 1771 Meiwa Tsunami and/or prehistorical Tsunamis, though some boulders might have been influenced of older Tsunamis and severe storms. At the ancient Tsunami, live *Porites* corals at reef fringes could have transported to the reef and land far beyond the transport limit of storm waves. Then, the corals cease growing and are fossilized. Recent studies have conducted the radiometric dating to Tsunami boulders with fossilized *Porites* and the result indicated that the age distribution is relatively wide range which is greater than the analytical error. Therefore, boulders at Ishigaki Island have had possibilities of the transportation by multiple Tsunami events, resulting in multiple rotations of Tsunami boulders. However, the radiometric dating could only obtain the date of first Tsunami event. Here we propose a paleomagnetic strategy to decide continuous rotation events of multiple Tsunamis from a coral Tsunami boulder. The boulders possess a depositional remanent magnetization of a magnetosome in origin which points to the ancient North pole. If the boulders rotate and stabilize in each new orientation, new magnetic vector component is overprinted to the original magnetization, which parallel to the present Earth's magnetic field. This new magnetization called viscous remanent magnetization (VRM) and increases progressively with age. New and original vector components are not parallel due to boulder rotations by multiple Tsunamis, so this study uses the progressive thermal demagnetization (PTD) to discriminate these new and original components. Furthermore, Neel's theory gives the formula of relationship between temperature and time for VRM acquisition. This formula predicts that natural VRM acquired at low temperature over a long time disappears at a high temperature in a short time in the laboratory. From comparing new magnetization (VRM) and the result of radiometric dating of Tsunami event, the validity of VRM dating is confirmed. If the VRM dating is suitable and the boulders acquire younger magnetization, the record of multiple Tsunami events is visualized from a single boulder. Preliminary experiment show the intensity of remanent magnetization is 2.6mA/m for the live *Porites* and its mean destructive field indicate 26mT, suggesting the presence of fine grain magnetite of magnetosome in origin. In this presentation, we present the paleomagnetic strategy and preliminarily results.

Keywords: boulder, Tsunami boulder, paleomagnetic history, viscous remanent magnetization (VRM)

青森県小川原湖の湖底堆積物の磁気的特徴 Magnetic properties of surficial sediments of Lake Ogawara, Aomori Prefecture

中野 遼馬¹, 林田 明^{1*}, 瀬戸 浩二², 岡崎 裕子², 中島 広海², 永島 郁², 秋満 睦², 山田 和芳³, 米延 仁志³
NAKANO, Ryoma¹, HAYASHIDA, Akira^{1*}, SETO, Koji², OKAZAKI, Yuko², NAKASHIMA, Hiromi², NAGASHIMA Iku²,
AKIMITSU Mutsumi², YAMADA, kazuyoshi³, YONENOBU, Hitoshi³

¹同志社大学, ²島根大学, ³鳴門教育大学

¹Doshisha University, ²Shimane University, ³Naruto University of Education

Lake Ogawara in Aomori Prefecture is a blackish water lake, which is connected through Takase-gawa River and an artificial sluice to the Pacific Ocean. While the average water depth of the lake is about 11 m, the central part is 15 to 20 m deep. With a year-round halocline layer at a depth around 10 m, the bottom to middle water is in anoxic condition. In 2009, core samples of the Holocene sediments of 20 m long in total were recovered from 3 holes in the central part and subjected to a multi-disciplinary research for reconstruction of paleoenvironment and paleoclimate. When the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake occurred, tsunami waves flooded into the lake through the Takase-gawa River and the sluice. This observation suggests a possibility that the lake sediments have archived tsunami and earthquake events in the past. Then, in order to understand limnological condition of Lake Ogawara, and also aiming detection of the recent tsunami deposits, systematic survey and sampling of lake water and surficial sediments were carried out in August to September, 2011. Here we report a preliminary result of magnetic measurements of the sediment samples dredged with an Ekman-Birge bottom sampler.

We measured weak-field magnetic susceptibility using a Bartington MS3 meter with an MS2C sensor and also on an AGICO KLY-3 KappaBridge to estimate anisotropy of the magnetic susceptibility. The susceptibility values range from 10^{-5} to 10^{-3} SI. The higher values were found at the sites around the mouth of the Shichinohe-gawa River entering to the lake and at the sites close to the Takase-gawa River. These data suggest that magnetic minerals of detrital origin were transported into the lake from the watershed in the west and also by erosion of the sandbar along the passway to the Pacific Ocean. Most of the AMS ellipsoids showed oblate shape with horizontal alignment, showing no systematic directional trends of the sediment supply.

キーワード: 小川原湖, 環境磁気学, 初期磁化率, 津波堆積物

Keywords: Lake Ogawara, environmental magnetism, magnetic susceptibility, tsunami deposit

琵琶湖北湖第一湖盆における湖底極表層堆積物の磁気的特性の地域的な特徴 Regional variation in magnetic properties of topmost sediments in the first depression of the Northern Lake Biwa

石川 尚人^{1*}, 石川可奈子²

ISHIKAWA, Naoto^{1*}, ISHIKAWA Kanako²

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科, ² 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

¹Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto Univ., ²Lake Biwa Environmental Research Institute

Rock-magnetic analyses have been performed on topmost sediments cored at the deepest part (91m water depth) of the first depression in North Basin of Lake Biwa for clarifying effects of early diagenesis on magnetic properties of the sediments and for investigating response of the magnetic properties to seasonal variation of dissolved oxygen (DO) content in bottom water, which is one of factors controlling early diagenesis. The following results have been obtained (Asami et al., in preparation): (1) the downcore decrease of magnetic coercivity occurs in uppermost sediments above about 10 cm below sediment surface (bss), and the content and grain size of magnetic minerals (magnetite or maghemitized magnetite) subsequently decreases and increases downcore, respectively, (2) in uppermost sediments above 10 cmbss magnetic coercivity and the presence of magnetic minerals with characteristic low-temperature magnetic property, as mentioned later, change seasonally associated with seasonal variation of DO content in the bottom water. In order to reveal these magnetic features in detail, we further conducted rock-magnetic analyses of topmost sediments cored at ten sites with different water depth in the first depression in Northern Lake Biwa. The DO content of bottom water at the ten sites changes seasonally. The Do value becomes lower than 4 mg/L in winter (November and December) at seven sites with the water depth deeper than 80 m among the ten site. Sediments cores of about 30 cm long were taken in summer (June-July) and winter (November-December), 2009.

Low-temperature magnetometric results from surface sediments above about 1 cmbss of all sites indicated the presence of magnetite or maghemitized magnetite. Warming curves from 6 to 300K of isothermal remanence (IRM) imparted at 6K in 1T after zero-field cooling showed a remarkable decrease of IRM between 90 and 120K, which may be regarded as a suppressed Verwey transition of magnetite. Magnetite or maghemitized magnetite is considered to be the principal magnetic mineral controlling magnetic properties in room temperature in Northern Lake Biwa. The warming curves of the samples at the deeper seven sites also showed another IRM decrease between 20 and 30K with the inflection point at about 29K. The IRM drop was detected more clearly in the samples taken in winter, when the bottom water showed the lowest DO value. It seems that the magnetic mineral with the characteristic low-temperature magnetic behavior exists at the deeper part with low DO bottom water in the first depression, and that the occurrence of the mineral is influenced by seasonal change of the DO values. Frederichs et al. (2003) reported low-temperature IRM decay curves of Fe-bearing rhodochrosite similar to those of our samples. A ferro-rhodochrosite may be a possible candidate as a magnetic mineral showing the IRM transition at about 29 K in our samples although the presence of ferro-rhodochrosite has not been reported from topmost sediments in Lake Biwa (e.g., Kawashima, 1985).

キーワード: 琵琶湖, 堆積物, 磁気特性, 岩石磁気学, 初期続成作用

Keywords: Lake Biwa, sediments, magnetic property, rock magnetism, early diagenesis

京都盆地コアの大阪層群 Ma5 相当層に対する岩石磁気学的解析 Rock magnetic study on sediments of non-marine and marine clay (Ma5) in the Osaka Group cored at Kyoto Basin

濱田 和優^{1*}, 石川 尚人¹, 竹村 恵二²

HAMADA, Kazumasa^{1*}, ISHIKAWA, Naoto¹, TAKEMURA, Keiji²

¹ 京都大学人間・環境学研究科, ² 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

¹Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, ²Beppu. Geo. Res. Lab. Kyoto Univ.

Rock magnetic analyses were performed on sediments of non-marine and marine clay in the Osaka Group cored at Kyoto Basin in order to investigate magnetic variations corresponding to environmental changes between freshwater and marine. The Osaka Group is the Pleistocene sequence formed related to sea-level changes in the glacial-interglacial cycles, and consists of alternating beds of non-marine sediment and marine clay. In a core drilled at Kyoto Basin, the Osaka Group is observed above 223.17 m in depth, and five beds of marine clay are recognized. The Ma5 bed of marine clay exists between 150.00 and 141.35 m in depth. The lower and upper boundaries of the Ma5 bed have been determined mainly based on the sediment facies and color. Analyzed samples in this study were collected in 20 cm intervals from two parts between 140.60 and 153.82 m in depth, including the Ma5 bed, and between 155.80 and 157.75 m in depth. We measured initial magnetic susceptibility (X), ARM susceptibility (X_{arm}), IRM intensity (IRM) and hysteresis parameters, and performed thermomagnetic analyses and progressive thermal demagnetizations of IRM (IRM-PThD). Electric conductivity (EC) and pH of clayey water stirring the sediment samples were also measured.

EC values showed a remarkable change between 151.41 and 151.21 m in depth. The EC values were lower (3.03-54.7 mS/s) in a zone between 157.75 and 151.41 m in depth (low EC zone: LEC), and were higher (142-278 mS/s) in a zone between 151.21 and 142.40 m in depth (high EC zone: HEC). The EC values were 45.6-133mS/s in a zone between 142.20 and 140.60 m in depth (intermediate EC zone: IEC). A drastic change of pH was also observed at the LEC-HEC boundary. The LEC and HEC zones showed stable pH values of 3.26-3.80 and 5.92-7.07, respectively. In the IEC zone, the pH values fluctuated between 3.37 and 4.41. According to Yokoyama and Sato (1987), sediments in the LEC, HEC and IEC zones were regarded as freshwater, marine and blackish sediments, respectively.

Values of rock magnetic parameters, X, X_{arm} and IRM, changed at the LEC-HEC boundary. These values extremely stable in the HEC zone, while the values fluctuated in the LEC and IEC zones. On the other hand, magnetic coercivity (H_c) showed no remarkable change at the LEC-HEC boundary. In the HEC zone, H_c were 30-43 mT with a maximum value at the middle part of the zone. Decay curves of IRM in IRM-PThD showed inflections at about 300-400°C and 580°C, and IRMs were completely demagnetized at about 700°C. The IRM behaviors at about 580°C and 700°C indicated the presence of magnetite and hematite, respectively. The inflection at 300-400°C implies the presence of iron sulfides such as pyrrhotite and greigite or titanomagnetite. The IRM decay curves of samples in the HEC zone resembled, suggesting that the composition of magnetic minerals is constant in the HEC zone. Decay curves of induced magnetization in the heating process of thermomagnetic analysis were similar to those of IRM in IRM-PThD. In the cooling process, magnetization of samples in the HEC zone increased below 200-250°C, indicating the formation of magnetic minerals with the curie temperature of 200-250°C during the heating treatment in air.

The HEC zone showing characteristic variations of pH, EC and rock magnetic parameters excluding H_c is not corresponded to the Ma5 bed. The lower and upper boundaries of the HEC zone are about 1.21 m and 1.05 m lower than those of the Ma5 bed, respectively. The difference in the depth of the boundaries between the Ma5 bed and HEC zone implies two alternative possibilities as follows: (1) the boundary estimation for the Ma5 bed is wrong, and the HEC zone is the sequence of marine sediments, or (2) magnetic properties, as well as pH and EC, of the sediments below the lower and upper boundaries of the Ma5 bed had been altered related to chemical condition changes between freshwater and marine.

Keywords: Rock magnetism, The Osaka Group, marine clay

広島湾での鉄硫化物と鉄酸化物の季節変化 Seasonal variations of iron sulfide and oxide in the Hiroshima bay

川村 紀子^{1*}, 天野 優香², 石川 尚人³
KAWAMURA, Noriko^{1*}, Yuka Amano², ISHIKAWA, Naoto³

¹ 海上保安大学校 基礎教育講座, ² 海上保安大学校 本科, ³ 京都大学大学院人間・環境学研究科

¹Japan Coast Guard Academy, Liberal Arts, ²Japan Coast Guard Academy, ³Graduate School of Human and Environment

広島湾では1970年代から鞭毛藻の異常繁殖による赤潮の発生が報告されている。鉄は鞭毛藻にとって必須元素である。また鉄は二価や三価のイオン、または酸化物や硫化物として陸から海へと供給されている。赤潮被害の予測のためには、鉄の分布やその形態を調べることは重要である。よって本研究では、堆積物中と海水中の鉄酸化物や鉄硫化物を調べたので報告する。2011年に広島湾において海底表層から5cmの堆積物および底層水、表層水を採取した。海底堆積物と懸濁物の岩石磁気測定と含有炭素、窒素、硫黄量の測定を行った。また底層水中の溶存態鉄量の測定を実施した。懸濁物の等温残留磁化強度は、海水中のpHの値と同じように変化しており、どちらの値も夏には最小値を示した。このことから、夏において鉄は液相に多く存在していると解釈できる。海底堆積物中には、常に磁鉄鉱(Fe_3O_4)と赤鉄鉱(Fe_2O_3)が存在していることが判った。一方でグレイナイト(Fe_3S_4)は含有硫黄量の値が大きい地点において認められた。夏に採取された試料では、280-320度での磁化の減少は不明瞭であった。磁氣的粒径は夏に減少し、また底層水中の溶存態鉄量は増加することが明らかとなった。以上から夏の還元的な海洋環境下において鉄酸化物は溶解し、またグレイナイトは黄鉄鉱(FeS_2)へと置き換わっていることが考えられる。

キーワード: 鉄酸化物, 鉄硫化物, 岩石磁気, C/N比, 海底堆積物, 懸濁物

Keywords: iron oxide, iron sulfide, rock magnetism, C/N ratio, marine sediments, suspended solids

阿蘇高野尾羽根溶岩の黒曜石中に共存するチタノヘマタイトとチタノマグネタイト Coexistent titanohematite and titanomagnetite in obsidian from Takanoobane lava of Aso Volcano, Japan

福岡 浩司^{1*}

FUKUMA, Koji^{1*}

¹ 同志社大学理工学部

¹Dept. Env. Sys. Sci., Doshisha Univ.

火山ガラスは安定した残留磁化をもつ超常磁性-単磁区粒子を多く含み、正確な地球磁場の記録を与えてきた。流紋岩組成の火山ガラスである黒曜石は、信頼性の高い古地磁気情報の潜在的なソースである。また、火山ガラスの磁気的性質は爆発的噴火に由来する特定のテフラ層を識別し対比するために重要な手がかりを提供する。

今回、阿蘇高野尾羽根流紋岩質溶岩のポーリングコアにおいてチタノヘマタイトとチタノマグネタイトの磁気的同定を行った。結晶質の流紋岩が溶岩層の内部をなし、上下に黒曜石層が存在する。1本のコアの上部の黒曜石層と3本のコアの下部の黒曜石層から試料を採取した。採取された黒曜石のブロックはしばしば曇ったガラス状粒子と結晶の球状体の混合物であり、慎重にガラス状の粒子を拾い超音波洗浄を行った。高温の熱磁気分析、低温交流磁化率測定と低温消磁を行った。

測定結果の中で最も顕著な特徴は、ほぼすべての試料に見られる交流磁化率の160 Kのピークである。このピークはチタンに富んだチタノヘマタイト ($y = 0.9$) のネール温度を指している。一方、500 K以上のキュリー温度が常に高温の熱磁気分析において見られる。時には500 K以上の2つのキュリー点が1つの試料片中で見られ、2相の低チタンチタノマグネタイト ($x < 0.1$) が存在することを示唆する。さらに、低温消磁曲線の約50 Kでの折れ曲がりや交流磁化率の周波数依存性のin-phaseとout-of-phaseの両成分で50 K前後のピークが見られる。これは非常に微細な粒子が黒曜石に含まれていることを示す。また、明瞭な低温での周波数依存性は、清浄なガラス状の粒子を見ることができる下部の黒曜石層の最下部で見られた。

複雑な磁性鉱物と鉄チタン酸化物の粒度分布を特定することができた。チタノマグネタイトは火成岩によく見られる酸化物であり、3軸IRM消磁のような室温または高温測定で容易に同定できる。一方、高チタンチタノヘマタイトは、室温より低いネール温度のため通常の磁気測定では見逃されるが、低温磁気測定では非常に低濃度のチタノヘマタイトを検出することができる。さらに、詳細な粒度分布は流紋岩質溶岩の冷却史を解決する手がかりを与える。

キーワード: 岩石磁気学, 黒曜石, 超常磁性粒子, 低温磁気測定, 磁化率の周波数依存性

Keywords: rock magnetism, obsidian, superparamagnetic grains, low-temperature magnetometry, frequency dependence of susceptibility

保磁力-ブロッキング温度マッピングによる岩石磁気特性の考察：大島 1986 年溶岩 Magnetic property of the Oshima 1986 lava based on mapping of the coercivity - blocking temperature diagram

寺田 卓馬^{1*}, 佐藤 雅彦¹, 望月 伸竜², 綱川 秀夫¹

TERADA, Takuma^{1*}, SATO, Masahiko¹, MOCHIZUKI, Nobutatsu², TSUNAKAWA, Hideo¹

¹ 東京工業大学地球惑星科学専攻, ² 熊本大学大学院先端機構

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University

岩石中の磁性粒子の磁気的性質は、主に種類、サイズ、形状によって決まる。たとえば、古地磁気学における初生磁化は安定な磁性粒子が担っている。また、岩石の磁化がどのようにして獲得されたのかを知るうえでも、磁性粒子の種類、サイズ、形状の分布は非常に重要な情報である。しかしながら、顕微鏡観察ではサブミクロンサイズの磁性粒子を調べることは困難である。従来の段階熱消磁、段階交流消磁からは試料バルクとしてのブロッキング温度スペクトル、保磁力スペクトルを得られるものの、サイズ、形状のファクターが入り交ざった情報になってしまう。本研究では、岩石試料に ARM をつけ、熱消磁と段階交流消磁測定を交互に行い、熱消磁の温度を徐々に上げて行くことで、試料中のブロッキング温度 (T_b) と保磁力 (H_c) の 2 次元マッピングを行い、試料中の磁性粒子の種類、サイズ、形、量の推定を試みた。

この測定法で特に優れている点は、(1) 顕微鏡で観察困難なサブミクロンサイズのチタノマグネタイトの分類ができること、(2) 保磁力-ブロッキング温度分布から粒子体積 (v)-粒子形状 () 分布に変換するモデルに適用して粒子のサイズや形状の推定可能なこと、(3) ARM を用いているので (TRM よりも) 磁化獲得において常温における磁区状態を反映し理解しやすい状態ことである。さらに、マッピングの結果を用いて、自然界における磁性鉱物生成、あるいは実験室加熱での熱変質の様相を推察した。

試料に用いた大島 1986 年溶岩は比較的高温酸化のない試料である (Mochizuki et al., 2004)。また、ARM の保磁力スペクトル、帯磁率の温度変化を比べると、400-500 まではほとんど熱変質が見られないが、より高温になると酸化したと考えられる。マッピング結果から、キュリー温度が 350 前後の主な成分 (x 0.4) と約 510 の成分 (x 0.1) が見られた。保磁力分布も合わせると、異なる H_c-T_b 分布を示す 4 つの成分に分類することができた。それらの粒子サイズ、種類および顕微鏡観察、低温消磁結果などの他の岩石磁気学的データに基づくと、マグマ溜まりの中でゆっくり晶出したチタノマグネタイト粒子、溶岩噴出後の急冷時に晶出したチタノマグネタイト粒子、晶出後の高温酸化で形成されたチタンに乏しいチタノマグネタイト粒子と解釈できる。

広域テフラに対比される溶結凝灰岩を用いた古地磁気強度測定 Paleointensity determination of welded tuffs correlated with widespread tephras

藤井 哲夢^{1*}, 望月 伸竜², 渋谷 秀敏¹
FUJII, Satomu^{1*}, MOCHIZUKI, Nobutatsu², SHIBUYA, Hidetoshi¹

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科, ² 熊本大学大学院先端機構

¹Department of Earth and Environmental Sci., Kumamoto University, ²Priority Org. for Innovation and Excellence, Kumamoto University

深海底堆積物から得られた相対古地磁気強度曲線の絶対値を補正するため,我々は広域テフラを伴う火砕流堆積物(溶結凝灰岩)を用いた古地磁気強度測定を進めている。広域テフラには海洋堆積物コア中に確認されていて,かつ,酸素同位体比変動に基づく年代が推定されているものがある。そのような広域テフラに対比される溶結凝灰岩を用いることで,年代誤差がほとんどないデータとして,絶対古地磁気強度と相対古地磁気強度曲線を比較することができる。

前回の連合大会において,我々は,阿蘇 1-4 の 4 つの溶結凝灰岩に対する, LTD-DHT ショー法による古地磁気強度測定の結果を報告した。本研究では前述の阿蘇 1-4 溶結凝灰岩に加えて,船倉・入戸・今市・耶馬溪溶結凝灰岩(それぞれ広域テフラの K-Ah・AT・Ss-Az・Ss-Pnk に対比される)の LTD-DHT ショー法による結果を報告する。

現時点で得られている古地磁気強度の平均は,船倉: $30.9 \pm 5.6 \mu\text{T}$, 入戸: $14.9 \pm 0.6 \mu\text{T}$, 今市: $32.2 \pm 1.3 \mu\text{T}$, 耶馬溪: $30.7 \pm 1.2 \mu\text{T}$ である。船倉・入戸・阿蘇 1-4 溶結凝灰岩は Takai et al. (2002) によるテリエ法データがある。テリエ法データと LTD-DHT ショー法データを比較した結果, 6 つの溶結凝灰岩のうち 4 つにおいてテリエ法データの方が 10-50% 大きい値を示している。更に溶結凝灰岩に対比される広域テフラの酸素同位体年代を用いて,得られた古地磁気強度と PISO-1500 を比較した結果,いずれも PISO-1500 の方が 5-100% 大きい値を示している。

キーワード: 古地磁気強度, 火砕流, 広域テフラ, PISO-1500, LTD-DHT ショー法

Keywords: paleointensity, pyroclastic flow, widespread tephra, PISO-1500, LTD-DHT Shaw method

須恵実験窯から採取した窯土試料の古地磁気強度実験 Paleointensity experiments on baked clay samples taken from the reconstructed ancient kiln

山本 裕二^{1*}, 鳥居 雅之², 夏原 信義³, 中島 正志⁴

YAMAMOTO, Yuhji^{1*}, Masayuki Torii², Nobuyoshi Natsuhara³, Tadashi Nakajima⁴

¹ 高知大学, ² 岡山理科大学, ³ 夏原技研, ⁴ 福井大学

¹Kochi University, ²Okayama University of Science, ³Natsuhara Giken, ⁴University of Fukui

1960~70年代にかけて、土地開発ブームに伴って数多くの遺跡の発掘調査が行われ、考古地磁気測定のための窯土試料が定方位で系統的に採取された。これらの試料については古地磁気偏角・伏角の測定が系統的に行われ、結果については考古地磁気データベースとして整備が進められている(広岡ほか, 2006)。しかし、古地磁気強度を推定するための実験は行われておらず、今後の研究の展開が期待されている。今回は、このような窯土試料から信頼度の高い地磁気強度絶対値が推定可能かどうか、実際に7世紀の須恵器窯を模して行われた焼成実験により得られた窯土試料を利用して、古地磁気強度実験を行った。

窯土試料は、陶邑実験窯古地磁気グループ(1976)より提供を受けた。焼成実験は、大阪府堺市に位置する泉北丘陵において1972年1月に行われ、その際の実験地点の地磁気三成分測定結果は偏角=-5.63度、伏角=46.78度、全磁力=46.350 μ Tであったことが報告されている(Nakajima et al., 1974)。焼成実験時には窯内の様々な高さ・深さの場所に熱電対が設置されて温度が計測されており、床面は約1000度まで、床下10cmの位置で630度まで、床下20cmの位置で350度まで温度が上昇していたことが確認されている。提供を受けた試料は石膏で固定された一辺約3.4cmの立方体状のもので、すでに20-40mT程度までの部分的な交流消磁が行われており、古地磁気偏角・伏角の測定結果がNakajima et al. (1974)および陶邑実験窯古地磁気グループ(1976)により報告されている。これらの報告によると、床面から採取された試料の測定結果(N=10)は平均偏角=-5.03度、平均伏角=43.37度、 α_{95} =2.42度であり、床下20cmの位置から採取された試料の測定結果(N=5)は平均偏角=-4.80度、平均伏角=43.52度、 α_{95} =3.38度である。伏角がやや浅めであるものの、実験地点の地磁気方位測定値とほぼ一致を示したと結論されている。

今回の試料はすでに部分的に交流消磁が行われているため、古地磁気強度実験は、主に熱消磁を利用するCoe-Thellier法(Thellier and Thellier, 1959; Coe, 1967)ではなく、主に交流消磁を利用するTsunakawa-Shaw法(Shaw, 1974; Rolph and Shaw 1985; Tsunakawa and Shaw, 1994; Yamamoto et al., 2003)により行った。12個の立方体状試料からおおよそ8分割した小試片(約1.7cm四方の立方体)を切り出し、それらに対してTsunakawa-Shaw法を適用した。9個の小試片の実験結果が判定基準をクリアし、地磁気強度推定値として $45.9 \pm 7.4 \mu$ T(1 σ)という結果が得られた。実験地点の地磁気強度測定値と良い一致を示すものの、標準偏差が大きく、決定精度が良いとは言えない。

判定基準をクリアして合格結果が得られた9個の小試片は、床面から採取された赤褐色を呈する7個の試片と、床下20cmの位置から採取された暗灰色を呈する2個の試片とに分かれる。赤褐色試片に比べて、暗灰色試片は、実験室で同じ磁場強度で印加した非履歴性残留磁化強度が約一桁小さいという事実も確認されている。暗灰色試片2個の結果を除外すると、地磁気強度推定値は $46.1 \pm 3.5 \mu$ T(1 σ)となり、決定精度が向上する。実際、古窯土試料からの古地磁気強度推定においては、床面から採取した赤褐色を呈する試料を利用することにより、10パーセント程度以内の決定精度で古地磁気強度を推定できることが示唆される。

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 Reexamination of geomagnetic secular variation in Kinki District using samples from Suemura kilns

吉村 巧^{1*}, 望月 伸竜², 渋谷 秀敏³

YOSHIMURA, Takumi^{1*}, MOCHIZUKI, Nobutatsu², SHIBUYA, Hidetoshi³

¹ 熊大・理・理学, ² 熊本大学大学院先導機構, ³ 熊本大学自然科学研究科

¹Fac., Sci., Kumamoto Univ., ²Pri., Org., Inn., & Exc., Kumamoto Univ., ³Department of Earth Sci., Kumamoto Univ.

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る。そこで、これらの試料について再測定を開始した。試料数は全部で4000個に上り、その内、約1000個を本研究のために熊本大学に移した。今回はその中から19サイト213個について、スピナー磁力計による自然残留磁化(NRM)再測定と交流消磁の結果について発表する。

交流消磁を行うと、川井研究室による測定結果に比べ、各サイトのkは一般的に大きくなり、平均すると約4倍、最大で21倍にまで改善した。これは、スピナー磁力計による測定精度の向上と交流消磁による安定磁化成分の抽出の両方の影響を反映したものだだろう。また、年代別で見ても各サイト平均方位の集中度は増したが、永年変化曲線とは一致しないため議論が必要である。

キーワード: 陶邑窯跡群, 考古地磁気学, 地磁気永年変化

Keywords: Suemura kilns, Archeomagnetism, Geomagnetic secular variation

岐阜県土岐地域の安山岩岩脈群の古地磁気：岩脈形成と回転運動の考察 Paleomagnetic results from andesite dikes in Toki, Gifu Prefecture: implications for dike emplacement and rotation

星 博幸^{1*}, 西村尚子¹

HOSHI, Hiroyuki^{1*}, Naoko Nishimura¹

¹ 愛知教育大学

¹ Aichi University of Education

High-magnesium andesite dikes of latest Cretaceous or Paleocene age (dated at 70-60 Ma by K-Ar dating) were samples from the Toki area, central Japan, to reveal a paleomagnetic direction and to discuss its implications for volcanic dike emplacement and regional tectonics. More than 100 oriented core samples were taken from a total of 17 dikes. Stepwise demagnetization (AF, thermal) was carried out for all samples, and principal component analysis was performed on demagnetization results to obtain characteristic remanent magnetization (ChRM) components. We determined ENE and down site-mean ChRM directions for 11 dikes. (Titano-)magnetite is the main carrier of ChRM. Small directional dispersion characterizes the site-mean directions, which suggests that the dikes were all emplaced probably within a short period of time compared to the general timescale of paleosecular variation. The ENE deflection of the ChRM directions indicates clockwise tectonic rotation in the study area. Clockwise rotation of the southwestern Japan arc associated with Paleogene to Miocene opening of the Japan Sea is the most likely cause of the observed paleomagnetic deflection. The angle of deflection is, however, larger than that of the Early Miocene direction in the same area, suggesting possible small clockwise rotation prior to the Early to Middle Miocene major rotation.

キーワード: 古地磁気, 岩石磁気, 岩脈形成, 回転運動, 中部日本, 日本海拡大

Keywords: paleomagnetism, rock magnetism, dike emplacement, tectonic rotation, central Japan, Japan Sea opening

北中国クラトン北部, 1.3Ga 貫入岩の古地磁気 Preliminary paleomagnetic results from 1.32 Ga diabase sills from Northern China Craton

三木 雅子^{1*}, 関 華絵¹, 乙藤 洋一郎¹, Zhen-yu Yang², Yabo Tong²

MIKI, Masako^{1*}, SEKI, Hanae¹, OTOFUJI, Yo-ichiro¹, YANG, Zhen-yu², TONG, Yabo²

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 中国地質科学院

¹Dept. Earth & Planet. Sci., Kobe Univ., ²Chinese Academy of Geological Sciences

We report new paleomagnetic results from diabase sills within the Mesoproterozoic meta-sedimentary rocks in the northern North China Craton. The age of the sills is assigned to 1320 Ma by U-Pb method (Li et al, 2009). We collected oriented block samples from ten sills for paleomagnetic investigation. Host rock samples were also collected for the baked contact test.

Preliminary paleomagnetic analyses were done on three or four diabase samples per site where two or three were demagnetized by thermal techniques while one complementary sample was demagnetized by an alternating field. We obtained stable paleomagnetic components from six sills. Two or three magnetic components are revealed during the experiments. The characteristic high temperature component is isolated between about 400 degrees and 600 degrees after removing low-temperature component with present field direction. The unblocking temperature of about 600 degrees indicates the main magnetic carrier of magnetite. During alternating field experiments, the high temperature component is exhibited as a high coercivity component.

Both normal and reversed directions and smaller scatter after tilt correction indicate likely primary origin of the magnetization. The characteristic components have northerly direction with shallow inclination after tilt correction. The preliminary paleomagnetic results indicate the low latitude position of North China Craton at about 1.3 Ga.

キーワード: 古地磁気, 北中国クラトン, 原生代

Keywords: Paleomagnetism, North China Craton, Proterozoic

AMS 消磁曲線比較による熱磁気変質検出法

A new technique for probing thermal alteration by using comparison of AF demagnetization curves of AMS parameters

鄭重^{1*}, 趙 西西²

ZHENG, zhong^{1*}, ZHAO Xixi²

¹ 総合開発株式会社地球科学事業部, ² カルフォルニア大学サンタクルス校

¹Geosciences Division, Sogokaiatsu Co. Ltd, ²University of California Santa Cruz

We report our new findings that anisotropy magnetic susceptibility (AMS) parameters during stepwise alternating-field (AF) demagnetization can be used for probing thermal alteration that often occur in paleointensity experiments. It is generally recognized that changes in thermal remanent magnetization (TRM) due to thermal alteration of magnetic grains during laboratory heating are the main reasons to result in failure in paleointensity determination experiments. We wonder whether there is a quick and simple mean that allow us to detect this kind of changes and thus better selecting proper samples for paleointensity experiments which is time-consuming and lab-intensive. Based on results from Zheng et al (2005, 2006, 2007) that it is magnetostatic interaction between grains, rather than domain interaction, could seriously affect on the properties of TRM and generate the non-ideal behavior in the Thellier-Coe method even in the case of mixture of MD and PSD grains, we recently identified that anisotropy magnetic susceptibility (AMS) parameters such as shape parameter (T) and mean susceptibility (K) are also significantly affected by the grains interacting field. Thus, AF demagnetization curve of AMS parameters is also a function of grains interacting field and magnetic mineralogy of grains, which can potentially probe the thermal changes in TRM as well. To enforce the effect of grains interacting field we charge sample with greatest magnetization of saturation isothermal remanent magnetism (SIRM) before running of AF demagnetization. After every AF demagnetization step, AMS parameters are measured to obtain the stepwise AF demagnetization curves of shape parameter (T) and mean susceptibility (K). By comparison of the curves obtained from raw sample and heated sample, it is possible to check whether thermal alteration has occurred in view of both magnetic mineralogy and magnetostatic interacting field. We will illustrate the effectiveness of this method with true rock examples from the Northeastern China Tertiary - Cretaceous basalt sequences.

キーワード: 熱変質検出法, AMS 異方性, 古地磁気強度, 静磁内部磁場, 飽和等温磁化, 交流消磁

Keywords: probing thermal alteration, AMS parameters, paleointensity experiment, magnetostatic interacting field, SIRM, AF demagnetization

室内型 μ G 装置で観察した単一粒子の磁気並進運動と飽和磁化の計測 Saturated Magnetization of Single Grain Obtained from Field-Induced-Translation in a Chamber Type Micro-G System

植田 千秋^{1*}, 久好 圭治¹

UYEDA, Chiaki^{1*}, Keiji Hisayoshi¹

¹ 大阪大学大学院 理学研究科

¹ Graduate School of Science Osaka University

単一の微小粒子の磁化を正確に検出する技術は、磁気科学に関連する諸分野で重要度を増しつつある。例えば、始原的隕石の中に含まれる Fe-Ni 粒子は、隕石形成時の星雲磁場に関する情報を保存している可能性があるが、単一粒子ごとの磁気分析は既存の装置では困難な場合が多い。当グループでは先に、単調減少する磁場勾配中に開放した様々な反磁性結晶が、磁場勾配力により磁場ゼロの方向へ並進運動することを、微小重力環境で観測した [1]。この場合、試料加速度は、(与えられた磁場分布の中では) 試料固有の磁化率により一義的に決定され、質量に依存しない。同様の並進運動は常磁性シリケートについても観測された。

今回、単調増加する磁場勾配の中に Fe および Ni の金属粒子を開放したところ、それらはエネルギー保存則に従って加速度運動した。すなわち粒子のもつ運動エネルギーと磁化のエネルギーは並進運動を通じて保存される [英文の (1) 式参照]。粒子の飽和磁化は、(質量計測をすることなしに) 異なる位置における磁場強度と粒子速度の関係から直性求められる。このようにして得られた飽和磁化の値は、2 桁にわたって文献値と一致した。すなわち自然界に存在する大多数の磁性粒子が、測定可能であると考えられる。これと並行して、上記測定で試料サイズを 3 桁にわたって変化させたが、測定誤差を超える顕著な依存性は見いだせなかった。これらの測定によって、強磁性粒子が上記エネルギー則に従って運動していることが検証された。この測定原理を実際の自然物質に適用するには、今後、試料サイズをマイクロ・レベルまで減少させて同様の検証実験を進める必要がある。

既存の磁化測定法では、1. 試料を磁場空間内に保持する試料ホルダーからのバックグラウンドシグナル、2. 試料の質量計測、という 2 つの制約のため、試料サイズの減少と共に、測定が困難になる。この問題を回避するため、既存の測定法では、微小試料の集合体を作成して計測を実施するが、一般に微小固体の磁性は試料ごとの特異性が大きく、この方法では十分な情報が得られないことが多い。これに対し、今回行った測定法は試料の運動が観測できる限り無制限に小さい試料が測定可能である。

[1] C.Uyeda et al: Jpn. Phys. Soc. Jpn. 79, 064709 (2010).

キーワード: 室内型微小重力発生装置, 飽和磁化, 単一粒子, 磁場勾配力, 磁気並進運動, 物質同定

Keywords: chamber type micro-gravity system, saturated magnetization, single grain, field gradient force, field induced translation, material identification

D''層内電気伝導度不均質による地磁気ジャーク時空間分布への影響 Influence of electrical conductivity heterogeneity in the D'' layer on geomagnetic jerks

清水 久芳^{1*}, 歌田 久司¹

SHIMIZU, Hisayoshi^{1*}, UTADA, Hisashi¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Geomagnetic jerks are known to have occurred globally around 1969, 1978 and 1991 and they are called as global jerks. Also, those occurred around 1999, 2003 and 2007 are identified as local jerks. One of the most prominent features of the 1969 geomagnetic jerk is the differential delay time of its appearance at the Earth's surface: the sudden change of the first derivatives was observed earlier in Europe compared with that in southern Africa. The cause of the difference as large as two years was attributed to the effect of conductivity anomaly in the D'' layer. Here we assume the locality of the jerk appearance to be simply due to the shape and intensity of the anomaly, and a set of 3-d numerical modeling of electromagnetic induction in the mantle was performed to clarify whether features of the geomagnetic jerks can be reproduced by the effect of mantle heterogeneity and magnetic field of a single spherical harmonic mode, both poloidal and toroidal, at the CMB. Numerical results suggest that even an extremely high conductive body in the D'' layer cannot generate differential delay time as large as two years at the surface of Earth by either the poloidal or the toroidal magnetic field at the CMB. On the other hand, it is demonstrated that a geomagnetic jerk originated from the toroidal magnetic field at the CMB is possibly observed as a local jerk. We consider that fast torsional oscillation in the core may produce the toroidal field variation by the omega effect. Global scale geoelectric field observed by transoceanic submarine cables in the north western Pacific may show possible contribution of the toroidal magnetic field on 2007 local geomagnetic jerk.

地磁気スペクトルを用いた外核乱流の推定 Time spectra of the geomagnetic field at the CMB and MHD flow in the core

坂口 浩一¹, 櫻庭 中², 清水 久芳^{1*}

SAKAGUCHI, Kouichi¹, SAKURABA, Ataru², SHIMIZU, Hisayoshi^{1*}

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

The flow of electrically conducting fluid in the outer core is responsible to generate and sustain the geomagnetic field. The flow in the core is expected to contain wide range of spatial spectrum, from planetary to turbulent scale. In this study, we made an attempt to extract information of the turbulence in the core from the geomagnetic field time spectra of decadal time scale.

The kinetic energy density of turbulence depends on power law with respect to the wave number in the inertial range and the power law also holds for certain frequency range according to Taylor's hypothesis. The exponent or the slope of the power spectral density (psd) in log space depends on the characteristics of the flow. Theoretical and numerical studies of MHD turbulence suggest that the exponents of the kinetic and magnetic energy are related with each other by magnetic induction. Therefore, if the exponent of the magnetic energy is obtained, it is possible to discuss the turbulent flow in the core by using the relationship between the two exponents.

Previous studies of the geomagnetic field spectra of decadal time scales employed magnetic field variation at the Earth's surface (Consolini et al., 2002) or the dipole moment (Sakuraba and Hamano, 2007). However, it would be more appropriate to analyze the magnetic field variation closer to the core for the discussion of the turbulent flow in the core. In this study, we used global geomagnetic main field model ufm1 (Bloxham and Jackson, 1992) to calculate the magnetic field time series and the psd of magnetic energy at the CMB. Average exponent of the psd is obtained as -5.8 when the spherical harmonic expansion is truncated at degree 10. It is confirmed that the exponent converges by increasing the truncation degree. The obtained value of exponent is significantly different from -11/3, which was obtained by previous studies of the surface magnetic field or the dipole moment.

The magnetic field calculated by a recent geodynamo (Sakuraba and Roberts, 2009) is also analyzed to compare the characteristics of the exponents. The obtained exponent is -5.3 and its variation with respect to increasing truncation degree is similar to that of ufm1. Similarity of the exponent value and the truncation behavior imply that the MHD dynamo model may reflect the dynamics of the Earth's core well.

In addition to the magnetic field, calculated flow by the geodynamo model was analyzed to compare the slopes of the magnetic and kinetic energy. The obtained exponent near the CMB was -3.1. The difference of the magnetic and kinetic energy exponents, about two, is consistent with the result of order estimate using the induction equation by assuming quantities expected in the core. The kinetic energy exponent in the core is estimated as about -3.3 when the same relationship between the magnetic and kinetic energy exponents holds. The value is smaller than the Kolmogorov exponent of -5/3. The strong magnetic field in the core, coordinate rotation and vigorous convection by high Rayleigh number are the possible causes of the steeper slope.

粘性と変動フィードバックを考慮した拡張ディスクダイナモモデルの分岐解析 Bifurcation analysis of an extended disk dynamo model incorporating effects of viscosity and variable mutual inductance

榎本 悠^{1*}, 高橋 太¹, 清水 久芳², 綱川 秀夫¹

MASUMOTO, Yu^{1*}, TAKAHASHI, Futoshi¹, SHIMIZU, Hisayoshi², TSUNAKAWA, Hideo¹

¹ 東京工業大学 地球惑星科学専攻, ² 東京大学 地震研究所

¹Tokyo Institute of Technology, ²ERI, Univ. of Tokyo

近年, ダイナモシミュレーションによって, 回転球殻における MHD ダイナモにはサブクリティカル領域が存在することが明らかになってきた [1]. サブクリティカルダイナモでは, ダイナモ作用を維持するために必要なエネルギー (レイリー数) が強磁場の効果によってダイナモ作用を励起する場合に必要なエネルギーよりも小さくなる. サブクリティカルダイナモは惑星の核のダイナミクス及びその熱的進化過程を明らかにする上で重要であるが, サブクリティカルダイナモが発生する要因はまだよく理解されていない. MHD ダイナモの挙動は複雑であり, サブクリティカルダイナモを生み出す素過程を抽出することは難しい. そこで, 本研究ではより簡単なモデルである Bullard のディスクダイナモ [2] に拡張を加えたモデルを用いて, サブクリティカルダイナモ発生の変因を調べた.

以下の二つの効果を加えることでディスクダイナモの拡張を行った. 第一に Bullard のディスクダイナモには粘性項がないので, 円板の角速度に比例する粘性項を運動方程式に加えた. もう一点は, 磁場による速度場のモード変更による効果である. MHD ダイナモは流体なので速度場のモードが変わりうるが, ディスクダイナモは速度場のモードが一つに固定されている. MHD ダイナモでは磁場によって速度場のモードが変更されることで, ダイナモ作用の効率が良くなっていると考えられる. この効果をディスクダイナモに組み込むために, 電流に依存して相互インダクタンスが増加する変動フィードバック効果を表す項を運動方程式及びダイナモの方程式に加えた. これらの拡張を加えたディスクダイナモの基礎方程式を無次元化し, 無次元化された基礎方程式で表される力学系について解析した.

解析方法には非線形系の分岐現象の解析に用いられる分岐理論と数値シミュレーションを用いた. その結果, 粘性を加えたディスクダイナモではダイナモ作用が維持される平衡点は常に安定であり, 磁場の大きさは一定値へ収束することがわかった. これは, Bullard のディスクダイナモに見られるような角速度の振動が粘性があることによって抑制され, ダイナモ作用が安定化しているためと考えられる. また, この場合には, 粘性係数を表すパラメータと抵抗を表すパラメータの積が $1/2$ 以上となる領域では導体が回転していてもダイナモ作用が維持されないことがわかった. これは粘性が大きいとダイナモ作用を成長させるのに十分な角速度を得られず, また, 抵抗が大きいと電流が流れにくいためにダイナモ作用が維持できなくなると考えられる. さらに, 粘性と変動フィードバックを考慮したディスクダイナモにはサブクリティカルダイナモとなる領域が存在することが分かった. また, 相互インダクタンスの増加率を表すパラメータを 10 と 120 でそれぞれ固定して数値シミュレーションを用いて 2 パラメータ分岐図を作成したところ, 相互インダクタンスの増加率が大きい方がサブクリティカルダイナモとなる領域が広いことが分かった. これらの結果から, MHD ダイナモにおける対流が起きていてダイナモ作用が維持されないパラメータ領域が存在する要因は粘性力によるものと類推される. さらに, サブクリティカルダイナモ発生の変因は粘性及び磁場による速度場のモード変更によるものと類推される.

参考文献

[1] Kuang, W.; W. Jiang; and T. Wang. (2008), Sudden termination of Martian dynamo?: Implications from subcritical dynamo simulations. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L14204.

[2] Bullard, E. C. (1955), The stability of the homopolar dynamo. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **51**, p. 744-760.

キーワード: ダイナモ理論, 惑星磁場, サブクリティカルダイナモ, ディスクダイナモ

Keywords: Dynamo theory, planetary magnetism, subcritical dynamo, disk dynamo

南極キングジョージ島マグマの古流向解析 Magma flow direction of basaltic rocks in the King George Island, Antarctica

昆周作^{1*}, 中村 教博¹, 船木 實², 坂中 伸也³

KON, Shusaku^{1*}, NAKAMURA, Norihiro¹, FUNAKI, Minoru², SAKANAKA, Shin'ya³

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 国立極地研究所, ³ 秋田大学大学院工学資源研究科

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²National Institute of Polar Research, ³Graduate school of Engineering and Resource Science, Akita University

The magmatic arc along South Shetland Islands, East Antarctica is considered to have been formed by back arc spreading related to the subduction along the South Shetland Trench, north of the Antarctic Peninsula during the late Cretaceous and middle Miocene. This magmatism consists of lava flows with subordinate pyroclastic deposits, intrusive dykes and sills and plutons, displaying a typical subduction-related calc-alkaline volcanic association. Moreover, radiometric dating indicated an apparent westward migration of the magmatic centers with time along the length of arcs (Birkenmajer 1994). The King George Island is represented by mainly Eocene basaltic to basaltic-andestic lavas, dacitic lavas, tuff and diorite/dolerite plutons. These magmatisms may have corresponded to major plate tectonic events of the area, such as the break-up of Gondwana land and the opening of Drake Passage. It is known that the flow direction of magma is directly connected to the mode and rates of a back arc spreading. There has been no data for the flow direction in this area, although magmatic flow direction of these volcanisms determines whether the intrusive volcanic rocks are fed by vertical injection of magma from deep seated magma chambers or by lateral injection from crustal magma chambers. In this presentation, we report the flow structure of basaltic rocks and diorite around the Marian cove in King George Island, Antarctica. We sampled 12 basaltic lavas, 8 plutons, 6 basaltic-andestic dykes, all located within 4 kilometer radius from the Korean Antarctic research station (King Sejong station) in the western side of King George Island. The plutonic rocks of diorite and dolerite are only found along the Marian cove, where is corresponding to the strong surface positive magnetic anomaly regions taken by ship-borne and foot-borne surveys. We measured a preferred alignment of magnetic minerals along framework-forming plagioclases in these rocks using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) with the verification of petrofabrics and source minerals by a field-emission gun electron microscope. The result reveals that plutonic rocks have high value of magnetic susceptibility and their anisotropy represents the vertical intrusion from the deep seated magma, being the possible origin of surface magnetic anomaly. The basalt dykes at Weaver and Barton Peninsula or along the Potter Cove are associated with steep plunge direction of the Kmax AMS axes, which gives support to notice that vertical magma flow may be related to a higher buoyancy of the magma during dyke intrusion. The magnetic lineation of some basaltic rocks are mainly within 30° from the horizontal plane, suggesting the presence of lava flows along the topography. Moreover, the basaltic lavas in the center of Barton Peninsula show a high value of magnetic susceptibility, being corresponding to the surface negative magnetic anomaly.

Keywords: Antarctica, anisotropy of magnetic susceptibility, magnetic anomalies, volcanic activity, back arc spreading

伊能忠敬の山島方位記に基く 19世紀初頭の日本の地磁気偏角の解析第5回報告 Analyzing the early 19th century's geomagnetic declination in Japan from Santou-Houi-Ki The 5th report

辻本 元博^{1*}, 面谷 明俊², 乾 隆明³

TSUJIMOTO, Motohiro^{1*}, Akitoshi Omotani², Takaaki Inui³

¹ 日本国際地図学会, ² 山陰システムコンサルタント, ³ 松江市文化財審議員

¹Japan cartographer's association, ²San-in System Consultant, ³Matsue Municipal Comitee of culture property

国宝「山島方位記」67巻は伊能忠敬による1800年から1816年迄の日本本土の殆ど全域の推計約20万件の陸上測量磁針方位角でなる測量方位角帳である。唯一東京深川伊能隠宅の1802年から1803年の測量データに付いての地磁気偏角の解析が1918年に行われて以来中断した解析作業を再開した。

(1)「山島方位記」のデータの解析で日本を地磁気偏角データが少ない地域から19世紀初頭に遡って世界の正確な地磁気偏角データの集中地域に変えることができ、北東アジアに新しいデータを提供できる。山島方位記からの解析済み地点数は130を超えた。当時の日本列島の偏角の分布の概略の全体像が現れ始めた。

(2) ガウスとウエーバーの等偏角線世界地図との比較

1840年発行で北東アジアの1830年頃(1828-1832)の観測データを基準に作成したガウスとウエーバーによる等偏角線世界地図(以下ガウスの等偏角線という)の日本列島の等偏角線の基本的構造は概略で山島方位記からの解析結果と同一である。しかし、九州北部と対馬では永年変化と逆転する矛盾と、北海道では地域的な相異が見られる。ガウスの等偏角線図の観測データの表には日本列島での観測データは書かれていない。記載されているのは東アジアの観測データは北京からモンゴル、バイカル、ヤクーツク、オホーツク、カムチャツカ等である。日本を含むガウス図の西太平洋岸の等偏角線は推定計算値によるものである。ガウス図は世界の地磁気の全体的な状態を知る為に描かれている。表に掲載の偏角は経度5°緯度10°枠での計算値で1枠長さが500kmと北海道の程度になる。故に山島方位記からの解析結果が非常に重要になります。(3) 山島方位記記載のデータを使用する優位性。

1. 膨大な測量データ。2. 分単位の解析結果 3. データが1800年から1816年に集中する。4. 日本本土のほぼ全域を網羅するデータ。5. ガウス図と山島方位記からの解析値との間に顕著な差があれば地域的磁気異常の可能性も含まれる。6. 伊能忠敬の測量基点の詳細位置の緯度経度秒単位より正確な復元ができ地磁気学と郷土史とで重要である。

(4) 解析方法の開発と改良と活用

1. 真方位から山島方位記記載の磁針方位を差し引いた差の平均を偏角とする。2. 測定の基点の詳細位置はその測量基点における異なる測量対象地点に付いて計算された全ての偏角の値が近似な位置に調整されるべきである。3. GPS送受信機で基点の緯度経度を確かめる。4. 辻本元博からスピードアップの為に上記の計算をエクセルの連続式にしたいとの相談を受けて面谷明俊が実現した。面谷明俊は島根県鳥取県の解析を継続中です。5. 乾隆明は解析結果を松江で郷土史教育に活用している。6. この計算式は世界中の磁針測量データの解析に使える。7. 解析結果は地磁気の地球モデルに有用である。

キーワード: 地磁気偏角, 伊能忠敬, 山島方位記, ガウス・ウエーバー等偏角線世界地図, 地磁気永年変化, 測量基点詳細位置復元

Keywords: geomagnetic declination, Tadataka Inoh, Santou-Houi-Ki, Isogonic Atlas by Gauss and Weber, Secular variation of geomagnetic declination, Restoration of precise position of survey point