

MR99-K04次航海で採取された堆積物コアの 古地磁気・岩石磁気

堀井 雅恵*¹ 山本 浩文*² 青木かおり*³
木川 栄一*⁴ 小山沙由紀*⁵ 酒井 英男*⁵

海洋地球研究船「みらい」のMR99-K-04次航海Leg-1 (1999年7月23日～8月3日)において北西太平洋・日本東方海域で3本のピストンコア(5m, 18m, 19m)が採取された。これらのコアについて古地磁気(自然残留磁化)・岩石磁気(帯磁率, 非履歴残留磁化, 等温残留磁化)の連続測定を行った。その結果, 試料は安定した正磁極の磁化方向を示し, 3本のコアはいずれもブルネ正磁極期(78万年前以降)に含まれることがわかった。PC-2コアからは, Laschamp イベント(40-50ka), Blake イベントと考えられる地磁気エクスカージョンを検出した。また, 岩相に伴う磁性鉱物の違いを検討するため, 帯磁率の極大・極小の試料や火山灰層の試料の磁気ヒステリシス測定を行った。

キーワード: 北西太平洋, ピストンコア, 連続測定, 地磁気エクスカージョン, 磁気ヒステリシス

Paleomagnetism and rock-magnetism for sediment cores from western North Pacific during the MR99-K04 cruise

Masae HORII*⁶ Hirofumi YAMAMOTO*⁷ Kaori AOKI*⁸
Eiich KIKAWA*⁹ Sayuki KOYAMA*¹⁰ Hideo SAKAI*¹⁰

Three cores (lengths: 5 m, 18 m, 19 m) were sampled from western North Pacific during the R/V Mirai cruise "MR99-K04 Leg-1". Paleomagnetic (natural remanent magnetization) and rock-magnetic measurements (magnetic susceptibility, anhysteretic remanent magnetization, isothermal remanent magnetization) were conducted on these cores using pass-through sensors. Remanent magnetization of the cores shows dominance of normal inclination, indicating that the cores are included in Brunhes normal polarity chron. We examined short geomagnetic excursions were found in the cores. Laschamp Event and Blake Event were identified.

Magnetic hysteresis measurement was conducted on samples with minimal and maximal susceptibility and samples included volcanic tephra to examine magnetic mineralogy.

Keywords : western North Pacific, piston core, pass-through measurement, geomagnetic excursion, magnetic hysteresis

*1 極限環境生物フロンティア研究生(埼玉大学理学部)

*2 海洋観測研究部

*3 産業技術総合研究所地質調査総合センター

*4 ワシントン駐在員事務所

*5 富山大学理学部

*6 Frontier Research System for Extremophiles, Visiting Researcher (Saitama University, Faculty of Science)

*7 Ocean Research Department

*8 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Geological Survey of Japan

*9 Washington Office

*10 Toyama University, Faculty of Science

1. はじめに

北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の変動に関する観測研究及び黒潮流域の古環境解析の一環として、1999年7月23日～8月3日に、地球観測船「みらい」の航海が行われた。この航海で採取された3本のコアについて行った古地磁気・岩石磁気測定の結果について報告する。

湖底や海底の堆積物コアに対して、有用な年代推定法の一つとして、古地磁気測定が行われる。しかし、78万年前のブルネ・松山境界より新しい堆積物では、古地磁気によって年代を決めることは難しい。ブルネ正磁極期中の短い地磁気エクスカージョンが検出されることがあるが、これらのショートエクスカージョンのみによる年代推定は現状では難しい。

堆積残留磁化の強度からは過去の磁場強度の絶対値を求めることは出来ないが、相対的な磁場強度の連続記録が得られる。近年、堆積残留磁化を用いた相対磁場強度の研究から、磁場が増加する時と減少する時の波形が非対称な鋸歯状の変動が報告されている¹⁾。相対磁場強度の推定には、長期間安定した堆積環境を保持しており、岩相が均質であるという点から深海堆積物がよく用いられるが、深海堆積物は一般に堆積速度が遅く、時間解像度が悪い。地球磁場強度変動と地球表層の現象との関連や磁場逆転時のメカニズム解明のために、より高い解像度のデータが求められている。今回の主な調査海域は、水深6000mほどであり、陸から十分離れているが堆積速度の比較的速い場所であるため、堆積物の乱れが少なく、かつ解像度の高い相対磁場強度のデータが期待された。

また、帯磁率、ARM、IRMなどの堆積物の磁気特性は、堆積環境の情報として利用できる場合がある。磁気特性から古環境変動を推定したり、磁気特性と気候変動の関係を調べたりする研究を環境磁気学(Environmental magnetism)という²⁾。例えば、Robinson(1986)³⁾は、北大西洋の堆積物で、帯磁率やSIRMが、氷期に高く、間氷期に低くなることを報告している。北太平洋では北大西洋と比べてまだ古気候・古環境データの蓄積が少なく、この海域の堆積物は環境磁気学的な研究の対象としても興味深い。

2. 採泥点・測定・解析

3本のコアの採取地点、水深、コア長は3本のコアの採取地点、水深、コア長は、それぞれPC-1(40.55°N, 142.92°E 八戸沖, 1555m, 4.87m), PC-2(40.01°N, 142.92°E, 5608m, 18.13m), PC-3(37.5°N 152.00°E, 5848m, 18.76m)である(図1)。

1mごとに切断され、縦に二分したコアから20×20×1000mmのU-Channel試料を採取し、2G社製パスルー型超伝導磁力計で2cm間隔の連続測定を行った。また、補遺的に7ccのプラスチックケースにてディスクリットサンプルを採取した。二次磁化を除去するための交流消磁は5, 10, 20, 30, 40, 50mTの各段階で行った。

ARM(非履歴残留磁化)は交流磁場1000mT, 直流磁場0.05mTで獲得させ、その後10, 20, 30mTで交流消磁した。IRM(等温残留磁化)は、50, 100, 200, 300, 400, 600, 900mTの直流磁場で獲得させ、その後10, 20, 30, 40mTで交流消

磁した。

帯磁率については船上でBartington社製MS2にて連続測定されたホールコアのデータを参照した⁴⁾。帯磁率、ARM、IRMは、主に含まれる磁性鉱物の量を反映するが、帯磁率は粗粒な磁性粒子に敏感であり、ARM、IRMは細粒な磁性粒子に敏感であるという特徴がある⁵⁾。

さらにU-channel試料から帯磁率の極大、極小の層や火山灰層の部分を0.3g程度採取し、インデコ社の磁気特性測定装置(MPMS)を用いて磁気ヒステリシスを測定した。

3. 結果

3.1. 古地磁気

交流消磁の結果、最初の消磁段階の5mTで、磁化方向に変化がみられる試料があったが、10mT以降の消磁段階では、ほとんど磁化方向の変化はなく、直線的に原点に向かって磁化が減少した。図2は、それぞれPC-1, PC2, PC-3コアのディスクリットサンプルの消磁結果の例をザイダーベルト図⁶⁾に表したものである。古地磁気層序の議論には、10mT消磁後の伏角、偏角、磁化強度のデータを用いた。なお、偏角については、コアの分割時に上下のセクションで方向が一致するように留意されているため、補正を行わず、そのままの値を示した。

(1) PC-1

図3に10mT消磁後の偏角、伏角、磁化強度を示す。伏角は最下部まで安定した正の磁化方位を示し、78万年前以降のブルネ正磁極期の堆積物と考えられる(図3)。このサイトは、陸に近い陸源物質の供給量が多く、堆積速度が速いと考えられる。古地磁気層序からは年代を限定することはできなかった。図3-5には、青木ほか(2000)⁷⁾によって確認された火山灰の層位を書き込んである。火山灰の年代は青木・新井(2000)⁸⁾と町田・新井(1992)⁹⁾を参照した。

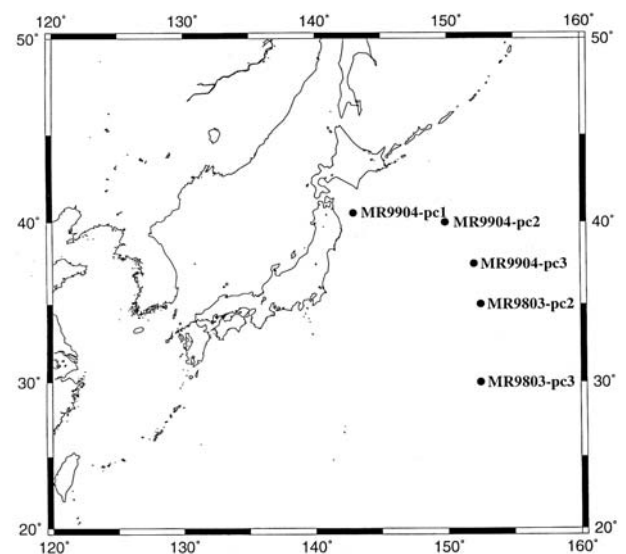


図1 MR99-K04のPC-1～PC-3コアとMR98-K03のPC-2, PC-3コアの採取地点。

Fig. 1 Location map of core sites for MR99-K04 and MR98-K03.

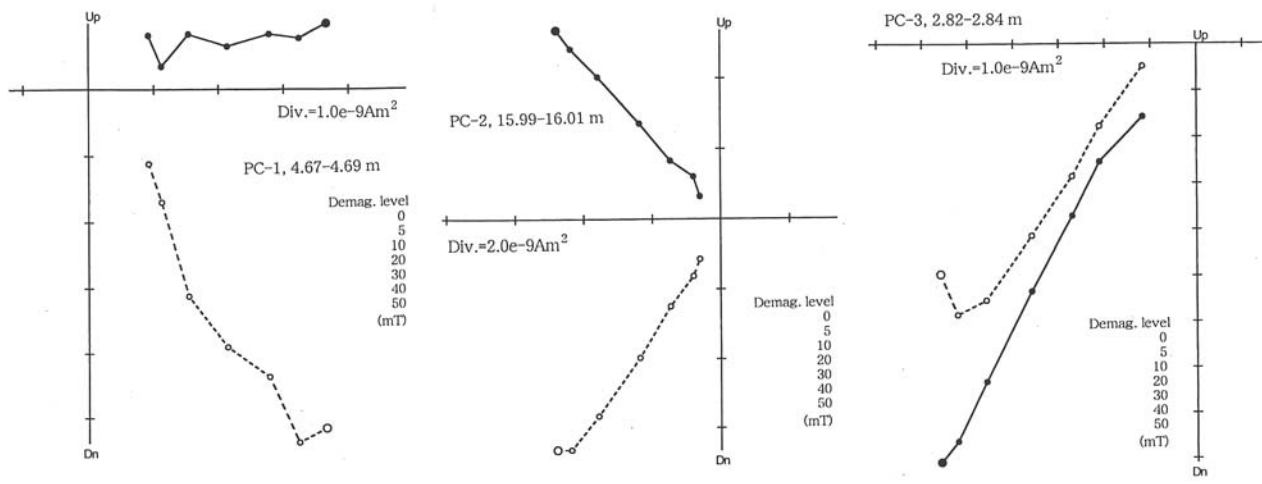


図2 PC-1- 4.67-4.69m, PC-2- 15.99-16.01m, Pc-3- 2.82-2.84mのザイダーベルト図。●は水平投影, ○は垂直投影を表す。
 Fig. 2 Zijderbeeld diagram of discrete samples from 4.67-4.69m for PC-1, 15.99-16.01m for PC-2 and 2.82-2.84m for PC-3. Solid circles express horizontal projection and open circles express vertical projection.

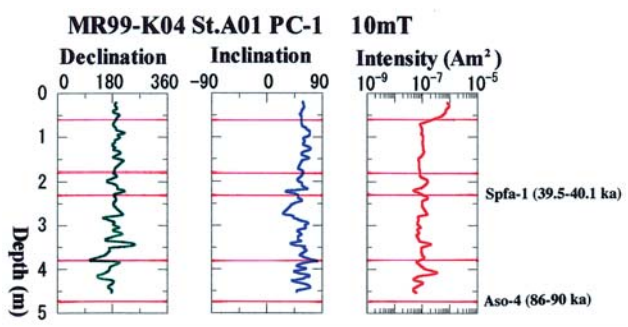


図3 PC-1の10mT消磁後の偏角, 伏角, 磁化強度。赤色の線は, 同定された火山灰層を示す。
 Fig. 3 The changes in declination, inclination and intensity with depth for PC-1 after 10mT demagnetization. Horizontal red lines mean identified volcanic ash layers.

(2) PC-2

図4に10mT消磁後のデータを示す。伏角は, ほとんど正の磁化方位を示し, 78万年前以降のブルネ正磁極期の堆積物と考えられる。上部0.4mと3.8m付近, 6.7m付近, 10.5m付近に伏角の異常が見られた(図4)。上部0.4mに関しては, 堆積物が軟弱であるため, 磁化方位を保持していない可能性がある。3.77-40.5mにSpfa-1(支笈第1)火山灰が確認されており⁷⁾, その年代は39.5-40.1kaとされている⁸⁾。よって, Langreis et al. (1997)⁹⁾によるブルネ正磁極期のエクスカーションの年代表(表1)を参照すると, 3.8mの伏角異常はLaschamp イベント(40-45ka)に相当する可能性がある。また, 6.75-6.835mには, Aso-4(阿蘇4)火山灰(86-90ka)が確認されており,⁷⁾ 6.7m付近のエクスカーションは, 86ka前後の年代を持つと考えられる。しかし, 表1の年代表には, 86ka前後のエクスカーションはない。また, 10.5m付近のエクスカーションは, Aso-4(86-90ka)より下位に存在することからブレイクイベントに相当すると考

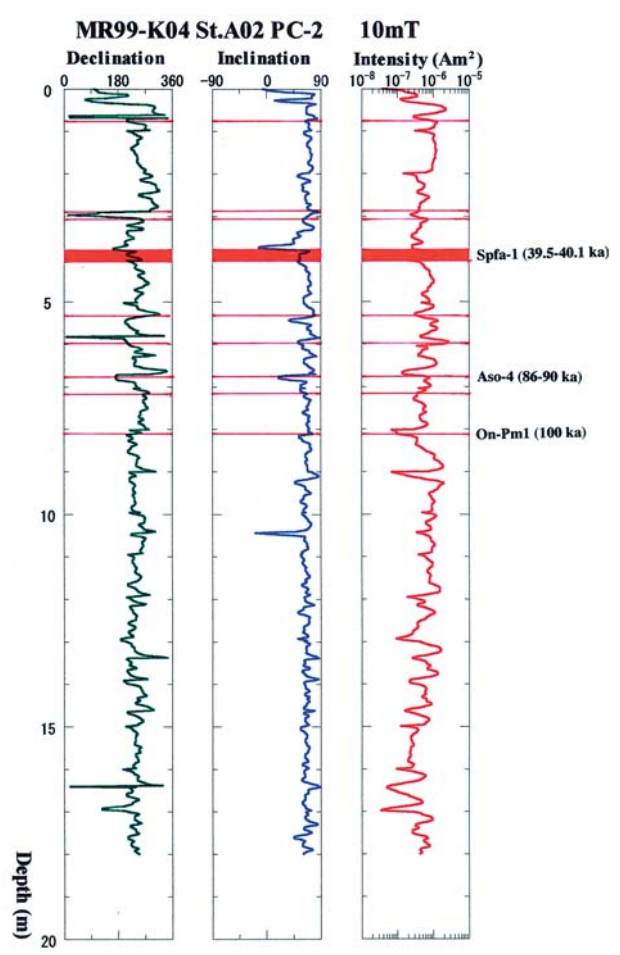


図4 PC-2の10mT消磁後の偏角, 伏角, 磁化強度。赤色の線は, 同定された火山灰層を示す。
 Fig. 4 The changes in declination, inclination and intensity with depth for PC-2 after 10mT demagnetization. Horizontal red lines mean identified volcanic ash layers.

表1 Langreis et al.(1997)によるブルネ正磁極期の地磁気エクスカージョンの年代表。

Table 1 Geomagnetic excursion time table in Brunhes Chron by Langreis et al. (1997)⁶⁾.

geomagnetic excursion	age
Laschamp	40-45 ka
Norwegian-Greenlang Sea	70-80 ka
Blake	110-120 ka
Albuquerque / Fram Strait	155-165 ka
Jamaica / Pringle Falls	205-215 ka
Fram Strait / CR0?	255-265 ka
Calabrian Ridge 1	315-325 ka
Levantine	360-370 ka
unknown	400-420 ka

えられる(表1)。プレイクイメントはブルネ正磁極期のエクスカージョンの中で最もよく知られたもので、世界各地の火山岩・堆積岩から見つかっている。Langreis et al. (1997)⁶⁾によると酸素同位体ステージの5dと5eの間にあるとされ、年代は110-120kaである。

(3)PC-3

伏角は、ほとんど正の磁化方位を示し78万年前以降のブルネ正磁極期の堆積物と考えられるが、上部0.4mと3.9m付近、16.4-16.6m付近に伏角の異常が見られる(図5)。上部0.4mに関しては、堆積物が軟弱であるため、磁化方位を保持していない可能性がある。また、3.9m付近に関しては、コアセクションの境界に当たるため、磁化方位が正確に測定されていない可能性がある。16.4-16.6m付近では、堆積物の断裂やタービダイト等がなく、継続した異常であるので、地磁気エクスカージョンである可能性が高い。しかし、この付近に年代の情報がないため、どのエクスカージョンに相当するかは明らかではない。青木ほか(2000)⁷⁾で、5.89-5.9mの火山灰がOn-Pm1(100ka)⁹⁾であると示唆されており、100kaより古いエクスカージョンであるといえる。

3.2. 磁気特性

3.2.1. 帯磁率・ARM・IRM

(1)PC-1

帯磁率とARM, IRMの変動は似た傾向を示しており、主に磁性鉱物の量変動を反映しているといえる(図6)。上部0.5mに顕著な極大が見られる。この層準付近には火山灰層と砂層が見られるが、極大の位置は砂層に近く、砂層が帯磁率極大の原因であると考えられる。この砂層は海水準低下から上昇へと移行するときに大陸斜面にできるtransgressive sand sheet¹⁰⁾である可能性がある。

(2)PC-2

帯磁率とARM, IRMの変動は概ね似た傾向を示しており、主に磁性鉱物の量変動を反映しているといえるが、帯磁率が低い割にARM・IRMが高い箇所があり、細粒の磁性鉱物が寄与していると考えられる(0.5m, 8.6-8.9m,

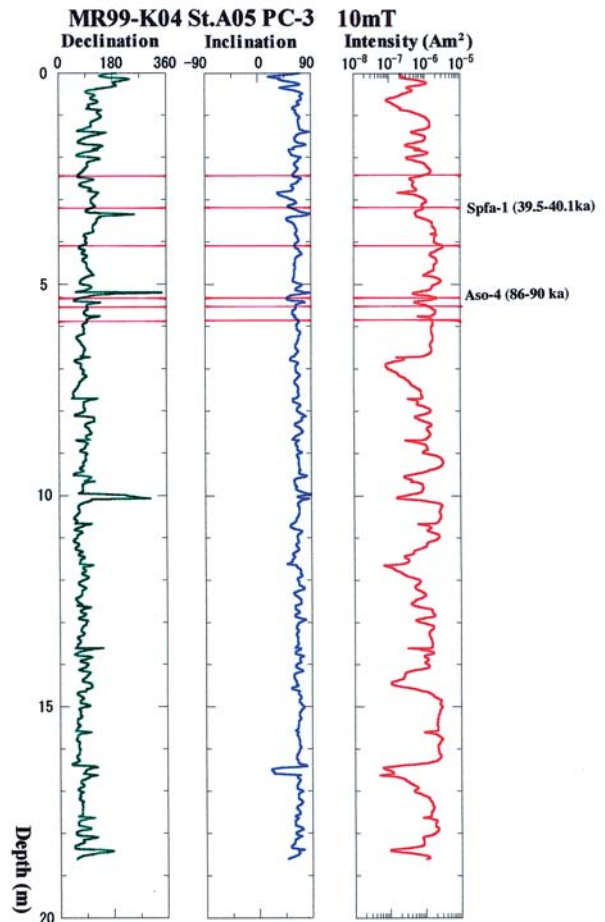


図5 PC-3の10mT消磁後の偏角、伏角、磁化強度。赤色の線は、同定された火山灰層を示す⁷⁾。

Fig. 5 The changes in declination, inclination and intensity with depth for PC-3 after 10mT demagnetization. Horizontal red lines mean identified volcanic ash layers⁷⁾.

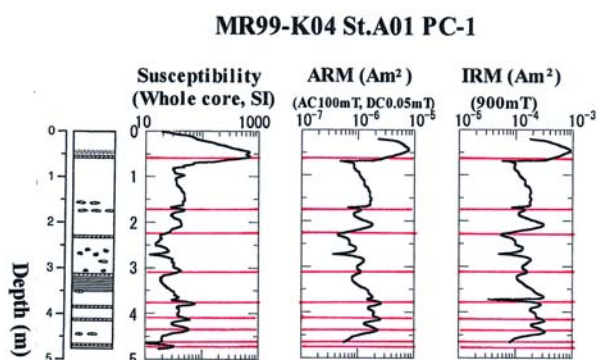


図6 PC-1の柱状図⁴⁾、帯磁率、ARM、IRM。赤色の線は全ての火山層を表す⁷⁾。

Fig. 6 The changes in lithology⁴⁾, magnetic susceptibility, ARM and IRM with depth for PC-1. Horizontal red lines express all volcanic ash layers and patches.

MR99-K04 St.A02 PC-2

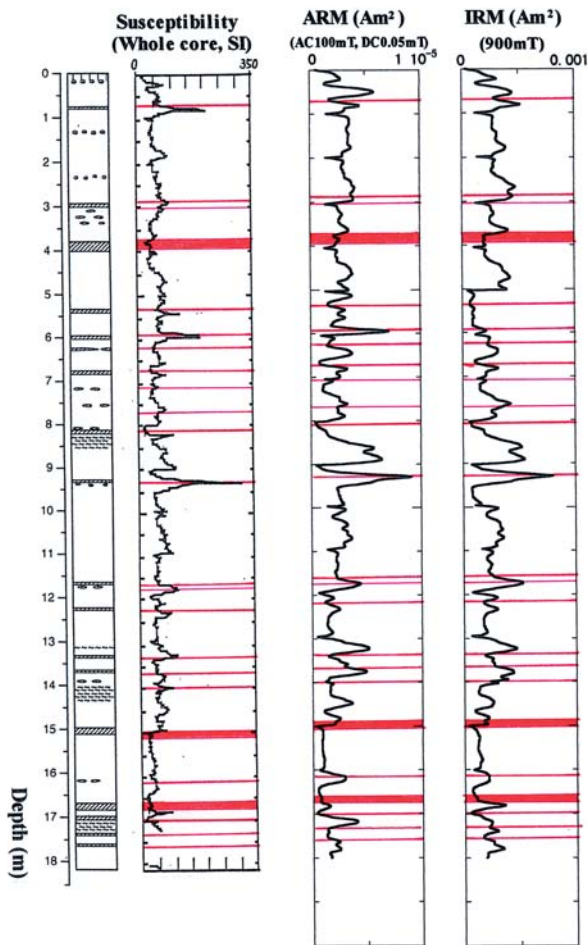


図7 PC-2の柱状図⁴⁾, 帯磁率, ARM, IRM。赤色の線は全ての火山層を表す⁷⁾。

Fig. 7 The changes in lithology ⁴⁾, magnetic susceptibility, ARM and IRM with depth for PC-2. Horizontal red lines express all volcanic ash layers and patches.

13.75m)(図7)。帯磁率は0.8m, 6m, 9.3mに目立った極大があり, そのうち6m, 9.3mは火山灰層に一致している。ARM・IRMの極大では火山灰層に一致しないものが多く, 岩相にも際だった特徴はない。

(3)PC-3

帯磁率とARM, IRMの変動は似た傾向を示しており, 主に磁性鉱物の量変動を反映しているといえる(図8)。5m, 9.9m, 10.25m, 12.8m, 14.9mの極大が火山灰層と一致するが, 4.2m, 9.2m, 10.8-11mなどのピークは火山灰層がみられない箇所である。

3.2.2. 磁気ヒステリシス

U-channel試料の帯磁率のピークの層や火山灰層などからそれぞれ0.3g程度サンプリングし, いくつかの試料について磁気ヒステリシス測定を行った(図9)。上段にPC-1, 2, 3のすべてに見られるAso-4火山灰(4.68-4.7m, 6.8-6.82m, 5.35-

MR99-K04 St.A05 PC-3

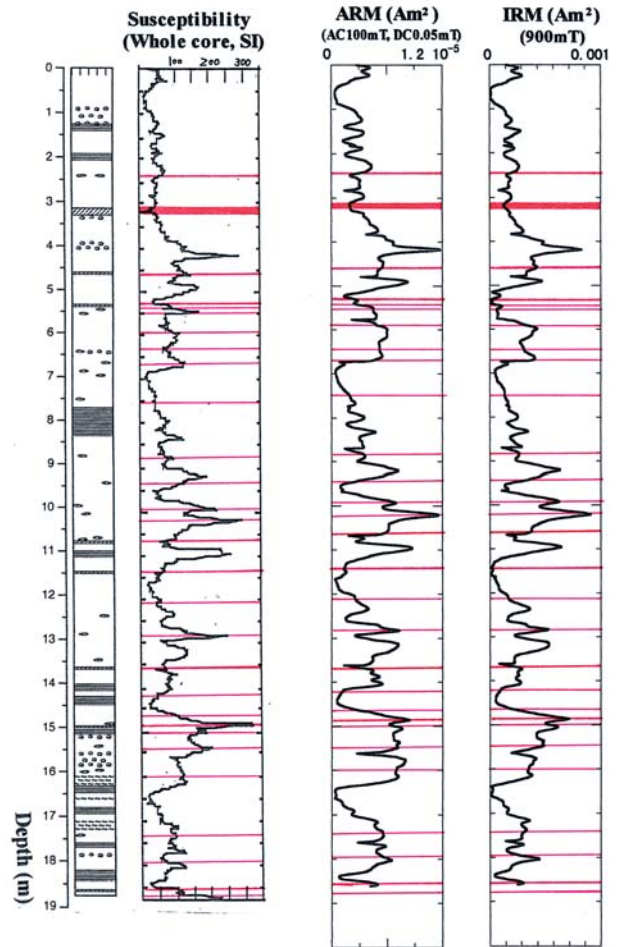


図8 PC-3の柱状図⁴⁾, 帯磁率, ARM, IRM。赤色の線は全ての火山層を表す⁷⁾。

Fig. 8 The changes in lithology ⁴⁾, magnetic susceptibility, ARM and IRM with depth for PC-3. Horizontal red lines express all volcanic ash layers and patches.

5.37m)の磁気ヒステリシスを示した。この火山灰の帯磁率は, 周囲の堆積物に比べてあまり高くはない。PC-1のサンプルについては, 火山灰層が薄く, サンプリングの際に周りの堆積物が混入したためにPC-2, 3と異なる傾向を示していると考えられる。PC-3はノイズが多いがPC-2とよく似た傾向を示しており, この火山灰層に含まれる磁性鉱物の特徴を示していると考えられる。下段はPC-1で帯磁率の顕著なピークを示す細粒砂層(0.45-0.48m), PC-2で帯磁率の極大を示す火山灰層(9.27-9.31m), PC-3で帯磁率の低い粘土層(14.44-14.46m)である。PC-1の砂層は保磁力が特に小さく, 他のものに比べて粗粒であるといえる。今回示したサンプルは磁気ヒステリシスの特徴から, すべて比較的低保磁力の磁性鉱物(チタノマグネタイト系列の鉱物など)を示している。

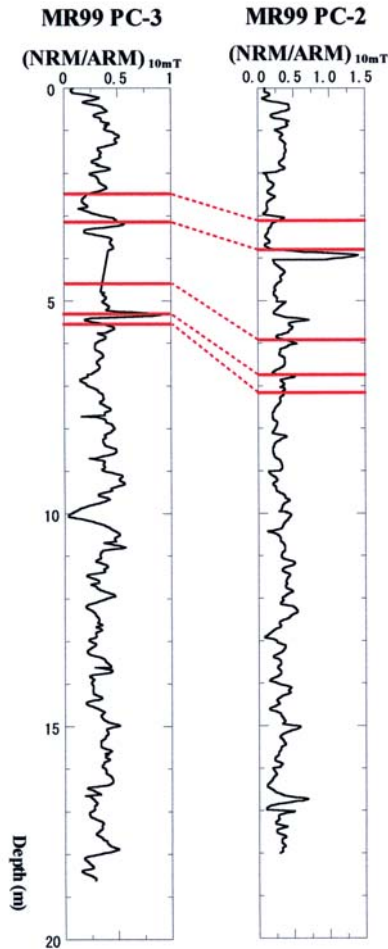


図9 MR99-K04のPC-2とPC-3について10mT消磁後のNRMを10mT消磁後のARMで規格化し、相対地磁気強度変化の見積もりを試みたもの。赤色の線は火山灰層⁷⁾によって決められた同時間面。

Fig. 9 NRM after 10mT demagnetization was normalized by ARM after 10mT demagnetization as an estimate of paleomagnetic intensity for cores PC-2 and PC-3. Red lines express isochronous surface by tephrostratigraphy⁷⁾.

3.3. 相対磁場強度

堆積物から過去の相対的な地球磁場変動を求めるためには、自然残留磁化の磁化強度変動から、磁性鉱物の変動の効果を差し引かなければならない。通常自然残留磁化を帯磁率や非履歴残留磁化などの磁気特性で割り算することで、相対的な地球磁場強度を求めている。PC-1は砂層の影響が大きいと考えるため、PC-2とPC-3で、規格化パラメータとしてARMを用いて相対磁場強度変動を求めた(図10)。図中に両コアで見つかった火山灰層の位置⁷⁾を入れて、同時間面を示した。これを見るとPC-2とPC-3の相対磁場強度曲線は調和的ではない。PC-2とPC-3コアも、火山灰層が多く、また磁性鉱物の粒径変化の影響も考えられるため、相対地磁気強度の研究にはあまり適していないと考えられる。

4. 考察

4.1. 古地磁気層序・年代

PC-1, PC-2, PC-3のいずれもブルネ正磁極期の堆積物であることがわかった。地磁気の逆転パターンによる年代推定はできなかったが、PC-2とPC-3に地磁気エクスカージョンと考えられる伏角の異常が何箇所も見られた。火山灰層序を参照して年代を特定できる可能性のあるPC-2の3つの伏角異常(3.8m, 6.7m, 10.5m)について詳しく考察する。図4は、U-channelの連続測定の結果であり、データが平滑化されているので、まず、デコンボリューション¹⁴⁾を試みた(図11)。3.8m, 10.5mの伏角の異常は、デコンボリューションすると大きくなり、完全な逆転を示すが、6.7mのものは、デコンボリューションしてもあまり変わらない。また、6.7m付近に堆積物が断裂している箇所があり、伏角の異常はその影響である可能性もある。さらに、従来の研究によると、この伏角の異常の直下にあるAso-4火山灰は通常の方角を持っており、前後にもエクスカージョンは報告されていない¹³⁾。以上の考察から、6.7mの伏角の異常は地磁気エクスカージョンによるものではない可能性が高い。PC-2の3.8 mの伏角の異常は、40-45kaのLaschampイベント、PC-2の10.5m付近の異常は、110-120kaのBlakeイベントに相当すると考えられる。

PC-1については陸に近いので、陸源物質の供給、炭酸塩の堆積により堆積速度が速いことが予想された。PC-2, PC-3については6000mの深海底としてはかなり堆積速度が速いといえる。例えば、これらのコアより南の海域の同様な水深で採取されたコア(MR98-K03 PC-2, PC-3)それぞれ約13m, 15mのコア長であるがオールドバイ正磁極サブクロンの下限(195万年前)まで認められている。図12に青木(2000)⁷⁾による火山灰層序をもとにしたMR99-K04の3本のコアの深さと年代の関係とMR98-K03 PC-2, PC-3の深さと年代の関係¹²⁾を示す。これらのコアでは堆積物の色相にも違いがあり、MR99-K04の堆積物は緑灰色～青灰色で、MR98-K03の堆積物は赤褐色～茶褐色である⁷⁾¹⁵⁾。MR99-K04のPC-2, 3採取地点は黒潮・親潮混合域であり、極めて生物生産量が高い。Gross(1993)による全地球の海底堆積物の種類の分布でも日本付近の北緯40°より北では珪藻を主体とする生物源堆積物、南は深海泥が堆積していることが示されており、衛星画像によるクロロフィルaの画像でも北緯35°より北で濃度が高いことがわかる。本研究とMR98-K03コアの研究結果との比較から、堆積環境・堆積速度が大きく変わる境界は、MR99-K04のPC-3とMR98-K04のPC-2の間の北緯36-37°付近にあり、この境界の位置は、少なくとも30万年間は大きく変わることはなかったと考えられる。

4.2. 帯磁率・ARM・IRMの変動

帯磁率や非履歴残留磁化・等温残留磁化などは、主に堆積物中の磁性鉱物量を反映する。

炭酸カルシウムや珪酸などの生物源堆積物の増減により、堆積物中の磁性鉱物量が希釈・濃集されるため、これらの磁気特性の変動が気候変動を反映する現象が知られている。中・高緯度地域では、温暖な間氷期に生物生産量が上

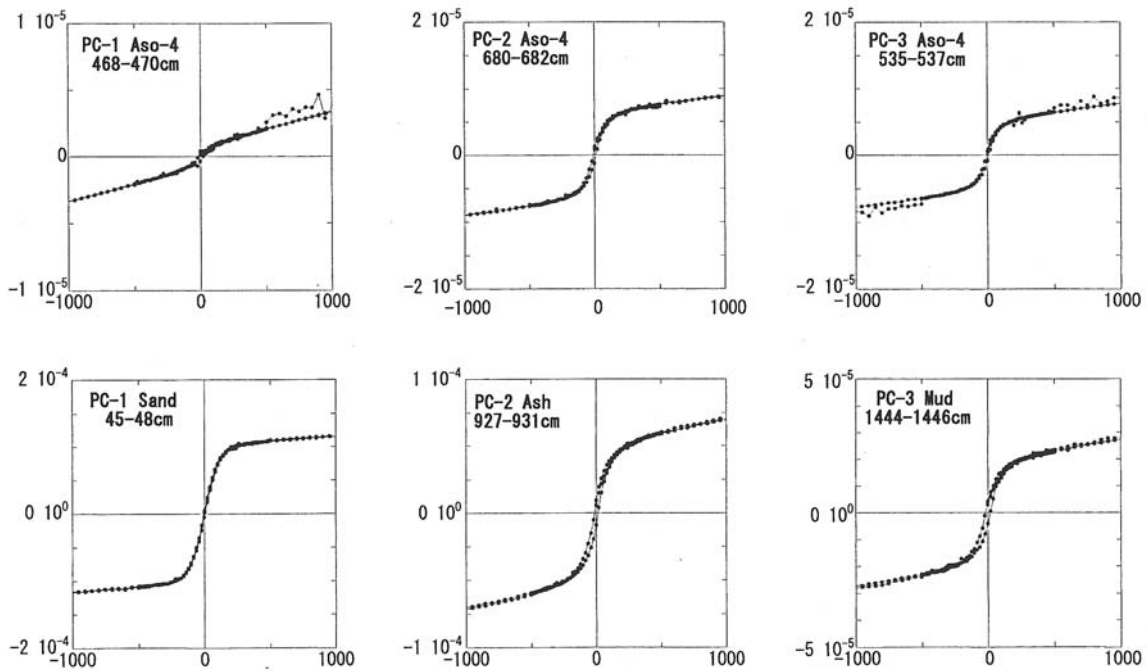


図10 MR99-K04の試料(PC-1~PC-3のAso-4火山灰, PC-1の砂層, PC-2で高い帯磁率を持つ火山灰層, PC-3で低い帯磁率を持つ粘土層)の磁気ヒステリシス。横軸は磁場(mT), 縦軸は磁気モーメント($\times 10^{-3} \text{ Am}^2$)を示す。

Fig.10 Magnetic hysteresis curves for Aso-4 tephra from PC-1~PC-3 (above 3 figures), sand with high susceptibility from PC-1, the ash with high susceptibility from PC-2 and mud with low susceptibility from PC-3. X axis: magnetic field (mT), Y axis: magnetic moment ($\times 10^{-3} \text{ Am}^2$)

昇する傾向があるが、日本東方海域では黒潮前線の北上・南下による局地的な影響の方が大きいと考えられる。

また、各コアとも火山灰層を多く含んでいるため、火山灰に含まれる磁性鉱物の影響も無視できない。実際に帯磁率の極大と火山灰層の位置が一致しているところもある。また、火山ガラスが主体で磁性鉱物をあまり含まない火山灰も多いと考えられ、すべての火山灰層で必ずしも帯磁率が高くなっているわけではなかった。火山灰のない箇所にも帯磁率の極大が見られ、こうした箇所では生物源物質の堆積が減ったことで磁性鉱物が濃集していると考えられる。

火山灰による影響を除外すれば、帯磁率の高い箇所が、堆積速度の遅い時期を示していると考えられる。火山灰による帯磁率の極大と堆積速度の低下によるものを区別する必要があり、詳しい磁性鉱物の分析や化学組成の分析を行う必要がある。黒潮前線の動きの詳細な解析は生物相や同位体の研究を待たねばならないが、堆積速度の細かい経時変動がわかれば、大まかな描像が得られる可能性がある。

4.3. 相対地球磁場変動

MR99-K04のコアは、多数の火山灰層を挟み、岩相の変化が大きく、磁気特性の変動も大きいため、あまり磁場強度変動の研究には向いていないことがわかった。堆積速度の速い堆積物から相対磁場強度変動を調べるためには、こうした影響を取り除く工夫を考える必要がある。

4.4. 磁気ヒステリシス測定

磁性鉱物の種類や粒径を検討するために、数個の試料について磁気ヒステリシス測定・キュリー点計測を行った。選んだ試料は、帯磁率が小さい広域火山灰、帯磁率が極大の堆積層、帯磁率の極大が見られる火山灰層、帯磁率の小さい堆積層である。各試料の磁気ヒステリシスは、保磁力が比較的小さく、飽和磁化が大きい磁性鉱物を示している。帯磁率の大きい試料でも小さい試料でも主な磁性鉱物はチタノマグネタイト系列と考えられ、主に含有量や粒度の違いが帯磁率やARM, IRM変動に現れていると考えられる。

5. 謝辞

本研究に用いた堆積物コアの採取にあたり、「みらい」の赤嶺正治船長をはじめとする観測士官、乗組員の方々、(株)MWJ、(株)GODIの観測技術員の方々の全面的な協力をいただいた。また、海洋観測部の流動研究員、山内守明氏、北海道大学の太場忠道教授、天羽美紀氏ら、MR99-K04航海に参加された研究者の方々には有益なアドバイスをいただいた。海洋科学技術センター深海研究部・金松敏也氏、(株)MWJ・松尾和枝氏には磁気測定にご協力いただいた。地質調査所の小田啓邦博士にはU-Channelの磁化測定データのデコンボリューションについてご指導いただいた。

また、この研究は財団法人日本科学協会による笹川科学研究助成を受けている。以上の方々に感謝申し上げます。

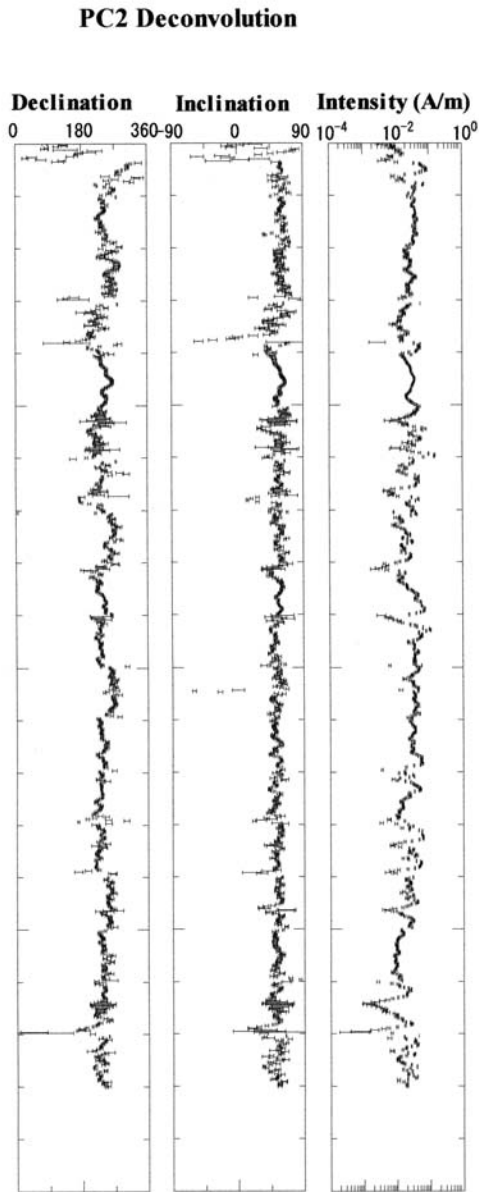


図11 MR99-K04のPC-2の古地磁気データをデコンボリューションしたものを。

Fig.11 Deconvoluted data of declination, inclination and intensity for MR99-K04 PC-2.

6. 引用文献

- 1) J. P. Valet and L. Meynadier, "Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years," *Nature*, 366, 234-238 (1993).
- 2) R. Thompson and F. Oldfield, *Environmental Magnetism* (Allen & Unwin Ltd., London, 1986).
- 3) S. G. Robinson, "The late Pleistocene palaeoclimatic record of North Atlantic deep-sea sediments revealed by mineral-magnetic measurements," *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 42, 22-47, (1986).
- 4) 山本浩文・山内守明・青木かおり・堀井雅恵・菅原敏勝,

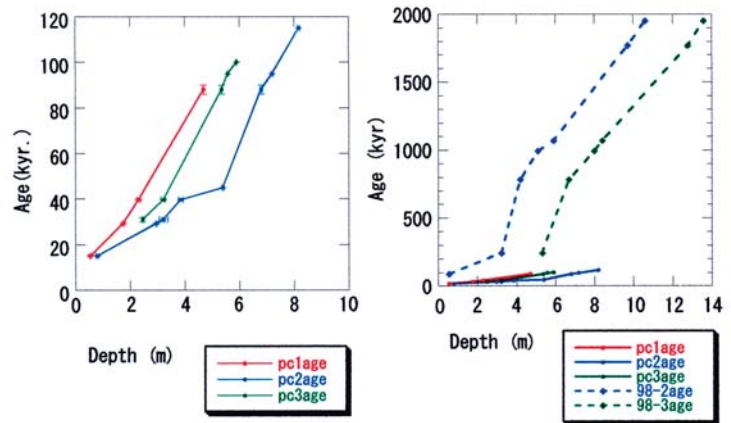


図12 左図：MR99-K04のPC-1～PC-3の深さと年代の関係⁷⁾。右図：MR99-K04のPC-1～PC-3の深さと年代の関係とMR98-K03のPC-2, PC-3の深さと年代の関係¹²⁾。

Fig.12 Left: Depth-Age plot for MR99-K04 PC-1～PC-3. Right: Depth-Age plot for MR99-K04 PC-1～PC-3 and MR98-K03 PC-2～PC-3.

"MR99-K04次航海で採取された北西大西洋域における堆積物の概要, 海洋科学技術センター試験研究報告," 41, 37-48, (2000)。

- 5) B. A. Maher, "Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites," *Geophysical Journal*, 94, 83-86 (1988).
- 6) J. D. A. Zijderveld, "A. C. demagnetization of rocks: analysis of result," in *Method in Palaeomagnetism*, D. W. Collinson, K. M. Creer and S. K. Runcorn, Eds. (Elsevier, Amsterdam, 1967), p. 254-286.
- 7) 青木かおり, 山本浩文, 山内守明, "[「みらい」MR98-K03次航海及びMR99-K04次航海で採取された海底コアの第四紀後期テフラ層序," 海洋科学技術センター試験研究報告, 41, 49-56, (2000)。
- 8) 青木かおり, 新井房夫, "三陸沖海底コアKH94-3, LM-8の後期更新世テフラ層序," *第四紀研究*, 39(2), 107-120, (2000)。
- 9) 町田洋, 新井房夫, *火山灰アトラス -日本列島とその周辺-* (東京大学出版会, 東京, 1992)。
- 10) C. G. Langreij, M. J. Dekkers, G. J. de Lange, M. Paterne and P. J. M. von Santvoort, "Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 Myr from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes," *Geophysical Journal International*, 129, 75-94, (1997).
- 11) Y. Saito, A. Nishimura and E. Matsumoto, "Transgressive sand sheet covering the shelf and upper slope off Sendai, Northeast Japan," *Marine Geology*, 89, 245-258, (1989).
- 12) 小山沙由紀, 酒井英男, 金松敏也, "太平洋の北西領域から得られた堆積物コアの古地磁気岩石磁気," 2000年地球科学関連学会合同大会予稿集, Ec-P012, (2000)。
- 13) 藤井純子, 中島正志, 石田志朗, 松尾征二, "山口県に分

- 布する阿蘇4テフラの古地磁気方位," 第四紀研究, 39 (3), 227-232, (2000)。
- 14) H. Oda and H. Shibuya, "Deconvolution of long-core paleomagnetic data of Ocean Drilling Program by Akaike's Bayesian Information Criterion minimization," Journal of Geophysical Research, 101 (B2), 2815-2834, (1996).
- 15) 村山雅史・青木かおり・金松敏也・山本浩文, "MR98-03 次航海において採取された北西太平洋域における堆積物の概要," 海洋科学技術センター試験研究報告, 40, 191-207, (2000)。

(原稿受理: 2001年7月31日)