

— 報 告 —

古地磁気・岩石磁気的手法による堆積物コアリング時の攪乱の推定

金松 敏也<sup>1a\*</sup>

深海底堆積物の採取によって連続的な地球科学的情報を得る事ができる。その手法としてピストン式採泥器（通常のピストンコアラーやIntegrated Ocean Drilling ProgramにおけるAdvanced Piston Core Systemといったピストンコアラー）が使われている。これらのピストン式採泥器はグラビティー式コアラーに比べ、ピストンが作る負圧の効果で長い堆積物コアを採取することができる。しかし、ピストン式採泥器は、ピストンの作用が適切でないと、堆積物コアを変形させ、基本的な研究データに影響を与える可能性がある。こうした変形は残留磁化方位（古地磁気方位）あるいは帯磁率異方性（磁気ファブリック）によって推定する事ができる。

キーワード：ピストンコアリング，コアリング攪乱，残留磁化方位，帯磁率異方性

---

2009年2月12日受領；2009年7月31日受理

1 独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター

現在の所属

a：独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域

代表執筆者：

金松 敏也

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域

〒236-0001 横浜市金沢区昭和町3173-25

〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15

046-867-9331

toshiyak@jamstec.go.jp

著作権：独立行政法人海洋研究開発機構

— Report —

**Paleomagnetic and rockmagnetic detections of sediment deformation caused by piston core sampling**

Toshiya Kanamatsu<sup>1\*</sup>

Marine sediments provide valuable information for a continuous geological record. Piston-type corers (conventional piston corer, and Integrated Ocean Drilling Program piston corer such as Advanced Piston Core System) are commonly used to collect sediments from the seafloor. The piston-type corer can recover a relatively longer sequence of sediment than that collected by a gravity-type corer. It owes a negative pressure produced by piston-system which makes sediment entering easier into tubes. However an inappropriate working of piston system will result in disturbing the texture and structure of sediment core. The disturbance possibly makes alternations on basic parameters such as length and physical properties. Although the disturbance is invisible sometimes, it can be detected by magnetic remanent directions and anisotropy of magnetic susceptibility.

**Keywords :** Piston coring, Coring disturbance, Remanence Magnetic directions, Anisotropy of magnetic susceptibility

---

Received 12 February 2009 ; Accepted 31 July 2009

1 Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Corresponding author :

Toshiya Kanamatsu

Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan

+81-46-867-9331

toshiyak@jamstec.go.jp

Copyright by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

## 1. はじめに

現在、深海底堆積物の採取にはピストンコーラーが主に使用されている。また、Ocean Drilling Program / Integrated Ocean Drilling Program (ODP/IODP) の深海掘削でもピストンを利用した水圧式ピストンコアシステム (*Joides Resolution* 号では Advanced Piston Core System : APC (Storm, 1990), “ちきゅう” では Hydraulic Piston Coring System : HPC) が使われている。これらのピストンを使った採泥器 (ピストン式採泥器) は比較的軟らかい堆積物を採取することができ、ODP/IODP では海底数百 m の深さまでの堆積物を採取することができる。これらによって採取された堆積物の時系列解析により様々な地球科学的な研究が進んできた事はいうまでもない。ピストン式採泥器の原理は、錘の重力落下、あるいは水圧により採泥器のパイプを地層中に貫入させ、パイプの先端に装着されたコアビットあるいはカッティングシューにより堆積物を円柱状にカットし地層 (堆積物コア) をパイプの中に導く事による。その際、パイプ内でピストンが同期して作動し、負圧を作る事により堆積物コアをパイプ中に誘導しやすくする。しかしその際に、パイプの内壁と堆積物コアの間に生じる摩擦やコーラーの貫入時の動態により、堆積物コア本体に伸縮や捻れなどを含む変形が生じることがある。これらの変形は堆積物の物性やコアの長さといった基本的な情報に大きな影響を与える。従って堆積物コアから取得したデータの品質を保証するためには何らかの方法によりコアの変形を検出する必要がある。視覚観察で変形を認識できる事があるが、コアを構成する堆積物が均質な場合は一般的に難しい。古地磁気・岩石磁気の方法は、堆積物を構成する磁性粒子群の持つ統計的な磁気的方位を検知でき、その方位の乱れから堆積物の変形を知る事ができる。本稿では残留磁化方位および帯磁率異方性の方法により、堆積物コアの変形を検知する方法を紹介したい。

## 2. ピストンコアリングによる堆積物コアの変形

堆積物コアの変形をもたらすピストン式採取はどのようなメカニズムであるか、以下に簡単に紹介する。ピストン式採泥器による堆積物コア採取の原理は、コーラーのパイプの先端に装着されたコアビットが地層に貫入する際に、コアビットが堆積物を円柱状にカットし (堆積物コア)、それがパイプに導かれることによる。その際に、パイプ中に装着されているピストンは、定点に固定され、一方パイプは移動して地層に貫入してゆくの、ピストンの下位と堆積物コアの直上の密閉された空間に負圧が生じ、堆積物コアがパイ

プに入りやすくなる。その結果、長い堆積物が採取できる。堆積物コアがパイプに入っていく際に、以下の3つの状態のどれかにあると考えられている (Fig. 1: Skinner and McCabe, 2003): (1) グラビティーコーラーのようにピストンが作動していない状態 (uncompensated for friction), (2) 完全にピストンが作動した状態 (compensated for friction), (3) 過度にピストンが作動した状態 (over-compensated for friction). グラビティーコーラー状ではピストンの負圧がない状態 (1) で、堆積物がパイプの中に入っていく時にパイプの内側と堆積物コアの間に摩擦を生じ、堆積物が相対的に入りにくい状態である。完全にピストンが作動した状態 (2) は、ピストンの負圧効果によりパイプの内側と堆積物コアの間に働く摩擦をうまく補償できている場合で、パイプが貫入した深さと同じ長さのコアが採取される。過度にピストンが作動した状態 (3) は、相対的にピストンが海底面より上がり負圧が大きくパイプの地層への貫入が相対的に遅れている状態である。(1) および (3) は堆積物コアに与えられた応力の結果、堆積物には地層中と違う歪みを生じることになり、パイプの中に封圧された堆積物は変形し、物性は変化するのであろう。

## 3. 堆積物に記録されている磁気的な方位

堆積物試料の古地磁気・岩石磁気記録には、主に2種類の磁気的方位が記録されている。1つは堆積物のもつ残留磁化であり、これは過去の地球磁場方位の記録である。もう1つは岩石磁気学的に推定される堆積物の粒子配列である。これは一例として粒子配列は人

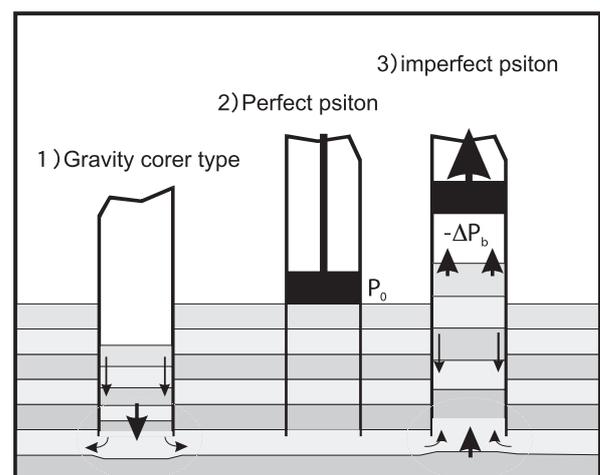


Fig. 1. Three possible states of sediment coring between sediment and corer pipe during corer penetrations (Modified Fig. 3, Skinner and McCabe, 2003): (1) gravity-corer type coring, (2) perfect state of piston-type coring: no piston acceleration, and (3) imperfect state of piston-type coring: piston accelerates upward.

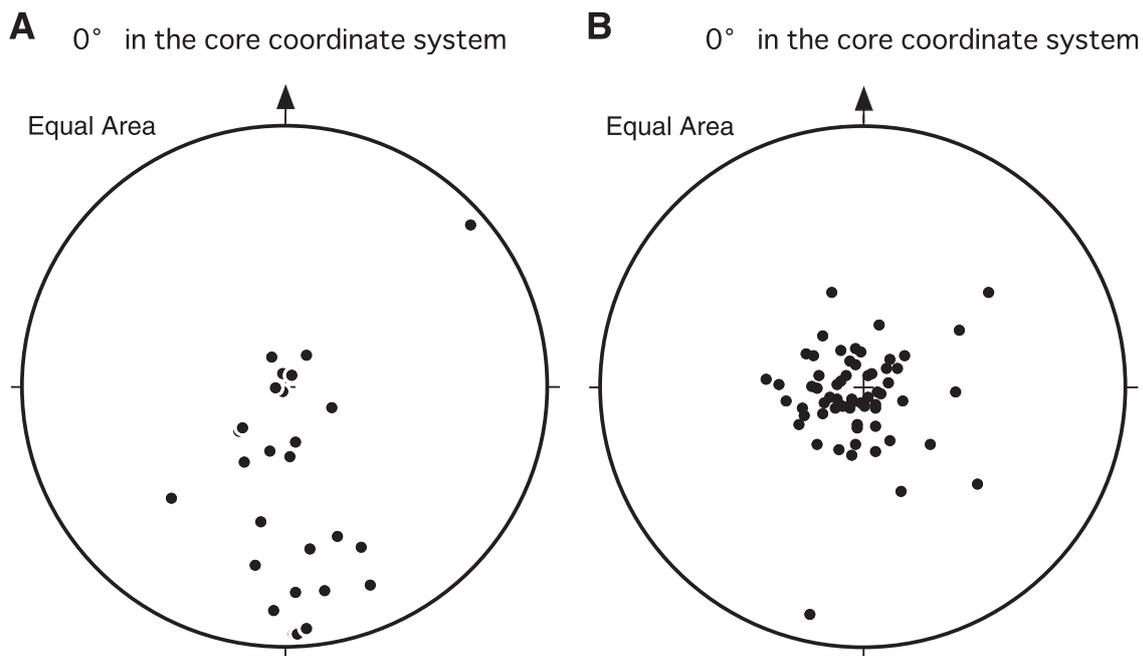


Fig. 2.  $K_{min}$  axis directions for APC cores. The lower hemisphere projection on Equal-area net in core coordinate system. A: ODP Hole 898A, magnetic foliation of bowing core. B: ODP Hole 1150C (Kanamatsu & Matsuo, 2003).

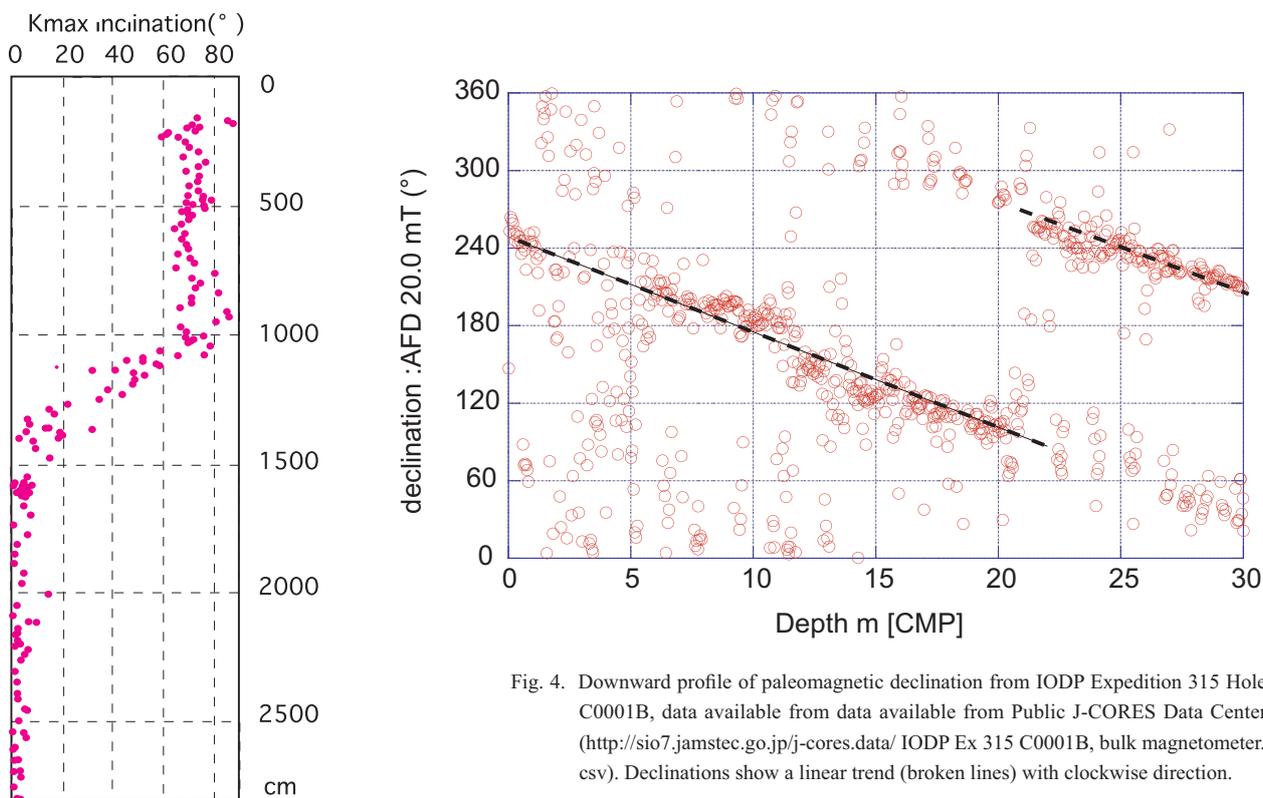


Fig. 3. The variation in  $K_{max}$  axis inclinations along core IMAGES-MD95-2042 (Thouveny et al., 2000). Vertical lineation (steep angle of inclination) dominates in the top 10 m. On the other hand horizontal lineation (shallow angle of inclination) dominates below the 15 m.

Fig. 4. Downward profile of paleomagnetic declination from IODP Expedition 315 Hole C0001B, data available from data available from Public J-CORES Data Center ([http://sio7.jamstec.go.jp/j-cores.data/IODP Ex 315 C0001B, bulk magnetometer.csv](http://sio7.jamstec.go.jp/j-cores.data/IODP%20Ex%20315%20C0001B_bulk_magnetometer.csv)). Declinations show a linear trend (broken lines) with clockwise direction.

工的に与える弱磁場中であらたに磁化する量を測定し得られる帯磁率（あるいは磁化率）の異方性を調べることで、容易に推定することができる。

残留磁化は堆積後、徐々に獲得されると考えられている。海底下、数cm-10cm程度で、“コンパスの振る舞い”をする磁性粒子群が統計的にその方向を地球磁場の方向に揃え、圧密による堆積物の間隙の減少に伴い固定されてゆくと考えられている（Tauxe, 2006など）。堆積物の残留磁化方位の記録は地球磁場の振る舞いを記録しているため、方位は一定でなく永年変化や、エクスカッション等も記録されている。だが十分に長い時間の平均は地磁気双極子モデルに乗っ取った方向になり、ある一定の方位と考える事ができる。

一方、“コンパスの振る舞い”をしない大きなサイズの磁性粒子群は堆積する際に、あるいは埋没初期段階の圧密で粒子群の短軸方向が統計的に水平面に垂直になるよう配列する。すなわち、帯磁率の最小軸方向が統計的に水平面に垂直に揃う。逆に最大軸方向は統計的に水平面内に揃う。また乱流流のような流体中で堆積した粒子群の配列は特殊な統計的粒子配列を示すが、本稿では簡単のため、非常に静かな環境で堆積し、圧密のみで粒子群が配列する場合だけを考える。

上に述べた2つの磁性粒子群の挙動を単純化すると、大きな粒子群の配列を帯磁率異方性が担い、堆積時あるいは初期の圧密過程でカードが重なるように並ぶ。カード間の空間には“コンパスの振る舞い”をする小さな磁性粒子群が、外部磁場の方向に揃うように回転して磁化方位を獲得するというイメージになるであろう。従って堆積物の帯磁率異方性により堆積あるいは圧密過程の粒子配列が分かり、残留磁化方位により地球磁場の方向がわかる。コアリングや掘削時の物理的ショックにより、この初源的な方位の変化が起こりうる。従ってこれらの方位が論理的な方向を示さない場合は、磁性粒子群の配列が乱されている事を意味し、視覚的に認識できなくとも、コアリングにより変形を被っている可能性を示す。

## 4. 磁気方位への影響

### 4.1. 帯磁率異方性に見られる変形：凸変形

コアリングの変形は実際にどのように磁気特性に現れるであろうか？ Fig. 2 (Kanamatsu and Matsuo, 2003)に2節の(3)の過度なピストンの作用で起こったと考えられる場合の帯磁率異方性の最小軸方向の分布を示す。このコアはODPのAPCで採取されたもので、コアの両端が強く引きずられて層理面が上に凸になった変形が見られる。ピストンの帯磁率異方性の最小軸方

向はコアの中心からパイプの壁面に向かう方向に分布している (Fig. 2 A)。この分布はレイヤーが傾斜してコアライナーの方向に向かっている事を示している。3次的にはコアの中央部の堆積層が凸になったドーム状になった構造であると推察される。一方、右側には帯磁率異方性の最小軸方向が極に集中しているデータを示す (Fig. 2 B)。最小軸方向の分布は極に集中し通常と考えられる堆積物の粒子配列であり、相対的に理想的なピストン作動2)の状態ですamplingされたと考えられる。

### 4.2. 帯磁率異方性に見られる変形：垂直方向の伸張

R.V. Marion Dufresne (フランス調査船) の Calypso piston corerで採取された堆積物コアは、コアの上方が伸張している例が報告されている (Thouveny et al., 2000, 池原ほか, 2006など)。Fig. 3 (Thouveny et al., 2000)では帯磁率異方性の最大軸方向の伏角が上部10-15m程度は垂直であり、一方下位の層準はほぼ水平である。初源的には最大軸方向の伏角が水平であると考えられるので、上部の地層は引き延ばされていると考えられた。この場合のピストン作動の状態は先の4.1で示したよりさらに過度に作動した状態と推定される。この例では、堆積層の層序学的な逆転は起こっていないが、引き延ばされている層の堆積速度は、通常の層と比べると見かけ上 Thouveny et al., (2000)では2.5倍、池原ほか (2006)では5倍程度速くなっており真の堆積速度を表していないと考えられた。

### 4.3. 帯磁率異方性から示唆される貫入終了後のフローイン

コアラーの貫入が終了しピストンコアラーを回収するためにワイヤーでピストンコアラーを巻き上げる際にピストンがパイプの上面に達していないと、ピストンが引き上げられ負圧が生じる。パイプが堆積層に十分刺さっていない場合、この状態が生じ堆積物コアの下面と海底の堆積層の間に負圧が生じる事がある。このためコアビット周辺の堆積物は堆積物コア下面とコアビットの空間を埋めるように流動してパイプに入るため、その堆積物の構造は乱れる。このような現象は一般にフローインと呼ばれ、研究試料としては除外すべきものである。Fig. 5に、この変形によってできたMR01-K02PC01コアの帯磁率異方性の方位をプロットした。上位 (10.99-11.54m)は正常な堆積層で、帯磁率異方性の最小軸方向が水平面と垂直に分布している。すなわち最小軸方向がステレオネットで極周辺に集中し、帯磁率最小軸方向は水平面に垂直で、水平面に平

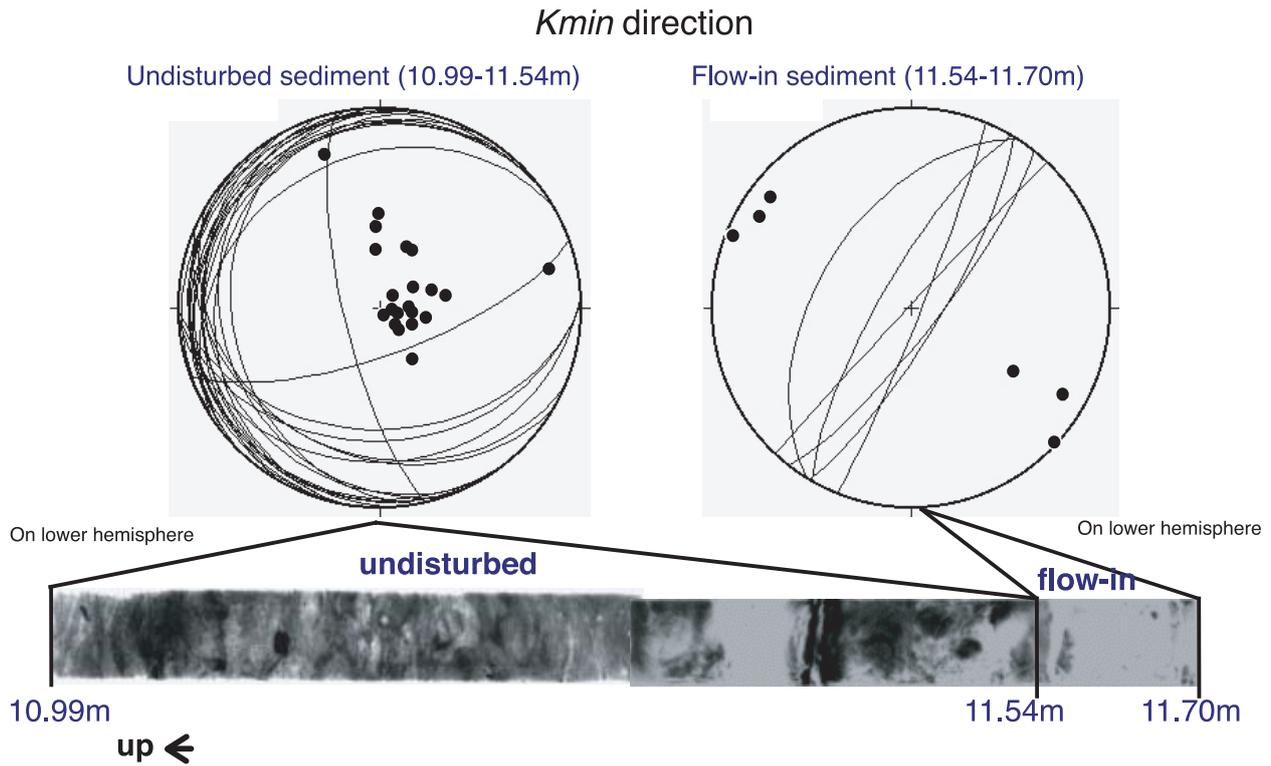


Fig. 5. Kmin axis distributions of undisturbed and disturbed (flowin) intervals in Core MR01-K02 PC01. Magnetic planes perpendicular to Kmin axes are also plotted on the lower hemispheres of stereo net. The bottom photograph shows soft x-ray images of the intervals.

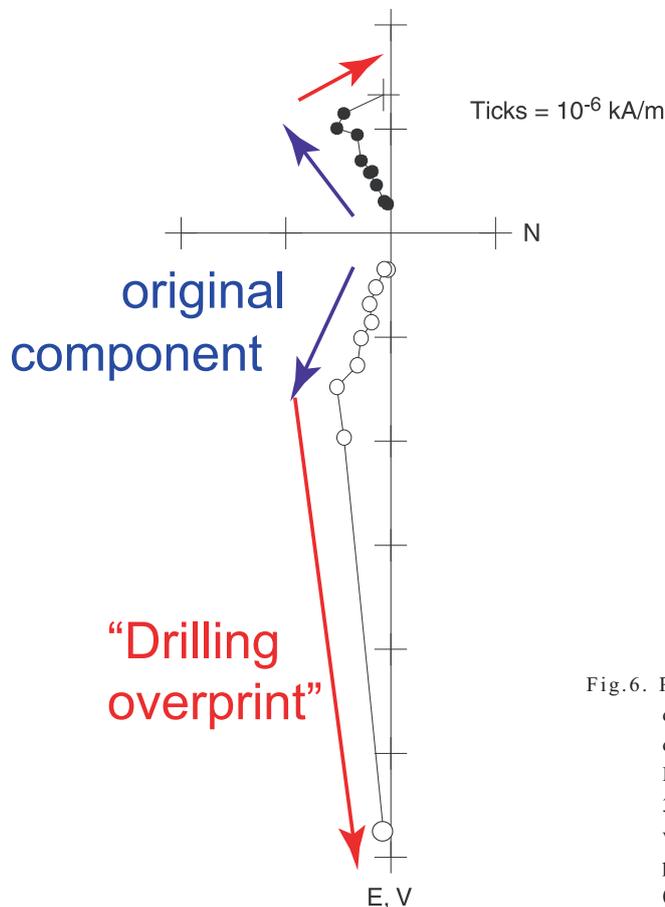


Fig.6. Results of progressive alternating-field demagnetization displayed by vector end-point diagram. Sample 315-C0002D-2H-2, 5-7 cm. Demagnetization steps = 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30,40, 50, and 60 mT. Data points = magnetization vector for individual demagnetization steps projected onto horizontal (solid circle) and vertical (open circle) plane.

行な磁気フォリエーションが発達しており、これは堆積時あるいはコンパクションによって形成されたと推定できる。これに対して下位 (11.54 – 11.70m) のフローイン堆積物は水平方向に最小軸方向が分布する。つまり最小軸方向が堆積面と平行に配列しており、明らかに自然堆積物のファブリック配列と矛盾する。ここではピストンコアラ貫入後、コアラが巻き揚げられた時に起こったフローインにより堆積粒子が再配列したものと推定される。Fig. 5にはこの層準に対応する軟X線写真を示したが、フローインと考えられるインターバルは構成物が均質なせいか、認識が難しい。

#### 4.4. 残留磁化方位にみられる変形：コアの水平回転

堆積物コアを採取した場合、残留磁化方位から計算される偏角の長時間平均は地心双極子にのった方向を示すはずである。しかし堆積物コアの最上部から最下部まで、ある程度の時間をカバーした記録において、地磁気変動とは考えにくいリニアな偏角の変化が観察される事がある。Fig. 4には“ちきゅう”の“HPCS”コアから採取された古地磁気偏角の深部プロファイルを示した。コアのインナーチューブには掘削前にあらかじめコアを半割するための直線が上から下まで描かれているが、回収した際には、この直線は捻られていなかった。従ってこの磁化方位の記録は堆積物コアがリニアに捻れた事を示唆している。Fig. 4では0-20mまで、 $7.5^\circ/m$ の割合で上から見て時計回転方向に堆積物コアが捻れている事が認められる(データは Public J-CORES Data Center ([http://sio7.jamstec.go.jp/j-cores.data/IODP Ex 315 C0001B, bulk magnetometer.csv](http://sio7.jamstec.go.jp/j-cores.data/IODP%20Ex%20315%20C0001B_bulk%20magnetometer.csv))から)。

こういった磁化方位の捻れは通常のピストンコアラにおいても見られる。山本ほか (2004) では、ピストンコアラの挙動を観察するためピストンコアラに方位傾斜計を装着し、実際に採取された堆積物の磁化方位を比較した。ピストンコアラの回転と堆積物の磁化方位の変化(回転)の様子は良く一致し、すなわち山本ほか (2004) の例ではピストンコアラが貫入した時に堆積物は相対的に回転していなかったが、ピストンコアラが徐々に回転しながら貫入したことが伺える。このような捻れは堆積物の物性への影響が非常に弱い、あるいは均質なため他の手法で推定する事ができないであろう。

#### 5. 掘削人工磁化 (drilling induced magnetization)

本稿で取り扱ってきた堆積物の変形の問題とは別に、堆積物コアが獲得する人工磁化の問題がある。4.4で示

した変形に起因する磁化の特徴と比較するために以下に紹介しておく。“Joides Resolution”号のAPC掘削人工磁化の一つに、堆積物が乱されていないにも関わらず垂直方向の二次磁化が付加する事が以前より知られている。これらは掘削機の一部(カッティング・シューやコア・バーレル)が帯磁しているためコアリング時にIRM(等温残留磁化)を獲得することにより起こると考えられている。おそらく掘削機の一部が垂直に磁化しているため、鉛直に近い下向き方向(上向きの場合もある)に堆積物が帯磁するのであろう。“ちきゅう”用に開発されたHPCSによって掘削された堆積物コアにおいても、“Joides Resolution”号のAPCと同様な垂直方向の二次磁化が観察されている。この成分は、段階的な交流磁場でクリーニングし、その度に磁化方位を測定する「段階消磁」という方法で認識できる。Fig. 6には段階消磁中の磁化ベクトルの水平成分と垂直成分の変化を示した。3段階目まではそれ以上の交流消磁クリーニングのステップで観察されるベクトルとは違った大きな垂直成分が認められる(Fig. 6中でDrilling overprintと示した区間)。交流消磁によってこの不安定成分を除く事ができ、古地磁気方位を知る上では支障がない。しかし初源的な磁化のかなりの部分もおそらくこの人工磁化と一緒に消磁されるので、どの程度の大きさの「初生磁化」が最初に担われていたのかを知るすべはない。一般的にこのような人工磁化は深海掘削にのみ報告されており、通常のピストンコアラからは報告はない。しかし堆積物コアの変形以外にも、磁気方位に影響を与える要因があることに注意する必要がある。

#### 6. まとめ

堆積物コアの変形は、コアの基礎データに大きな影響を与える可能性がある。本稿で示したような簡便に測定可能である帯磁率異方性(磁気ファブリック)や磁化方位(古地磁気方位)により、これを監視することができる。実際に、これらの手法を適応する際には、様々な情報も加味しながら判断をしてゆくことが必要である。本稿では帯磁率異方性を利用する場合は、堆積物の磁気フォリエーションが水平面に平行に獲得されたと仮定をおくことで、その変形を知ろうとしたが、堆積物が海底土石流によりもたらされたり、テクトニックな変形を被っている場合はこの仮定は当てはまらない。一方、古地磁気方位を用いる方法は十分な長時間をカバーした連続記録を参照して、方位の自然でないと思われる変化からコアの変形を知ろうとしたが、急激な方位の変化が認められた場合、コアの急激な捻れな

か、エクスカージョンのような自然のシグナルなのか、他のデータを参照しながら判断してゆく必要がある。ピストン式採泥器は、難点はあるながらも、効率の良い堆積物コアリングの方法として現在も広く採用されており、今後とも大いに活用されるであろう。本稿ではピストン式採泥器における堆積物コアの変形の様子を磁気方位から検知する方法を紹介したが、このような検討を継続し、その堆積物変形の原因を明確化しピストン式採泥器の改良の機会に役立てたいと考えている。

### 謝辞

本稿の作成にあたり、海洋研究開発機構の坂本竜彦博士、高知大学海洋コア総合研究センターの山本裕二博士に有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

### 引用文献

池原 実, 村山雅史, 多田井修, 外西奈津美, 大道修宏, 川幡穂高, 安田尚登(2006), 四国沖から採取された2本のIMAGESコアを用いた第四紀後期におけるテフラ層序, *化石*, 79, 60-76.  
Kanamatsu, T. and K. Matsuo(2003), Rock magnetic study of sediments from the Japan Trench, ODP Leg 186: Implications for deformation of sediments, In

Suyehiro, K., Sacks, I.S., Acton, G.D., and Oda, M. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 186, 1-21[Online].

Available from World Wide Web:<[http://www-odp.tamu.edu/publications/186\\_SR/VOLUME/CHAPTERS/113.PDF](http://www-odp.tamu.edu/publications/186_SR/VOLUME/CHAPTERS/113.PDF)>

Tauxe, L., J. Steindorf and A. Harris(2006), Depositional remanent magnetization: Toward an improved theoretical and experimental foundation, *EPSL* 244, 515-529.

Thouveny, N., E. Moreno, D. Delanghe, L. Candon, Y. Lancelot, N. Shackleton(2000), Rock magnetic detection of distal ice-rafted debris: clue for the identification of Heinrich layers on the Portuguese Margin, *EPSL* 180, 61-75.

Skinner, L., and McCave, I.(2003), Analysis and modelling of gravity- and piston coring based on soil mechanics, *Marine Geology* 199,181-204.

Storm, M., Ocean Drilling Program (ODP) Deep Sea Coring Techniques (1990), *Marine Geophysical Researches* 12, 109-130.

山本浩文, 内山守明, 金松敏也, 三島稔明(2004), 本州東方海域における過去2万年の海洋環境, *海洋科学技術センター試験研究報告*, 49, 1-14.