

古地磁気・岩石磁気研究の進展

— 白嶺丸が採取した堆積物の重要な役割 —

山崎 俊 嗣¹⁾

海底堆積物を用いた古地磁気・岩石磁気研究の最近の進展を、地質調査所の成果を中心に概観し、白嶺丸により世界の海から採取された堆積物がたいへん重要な役割を果たしてきたことを紹介する。

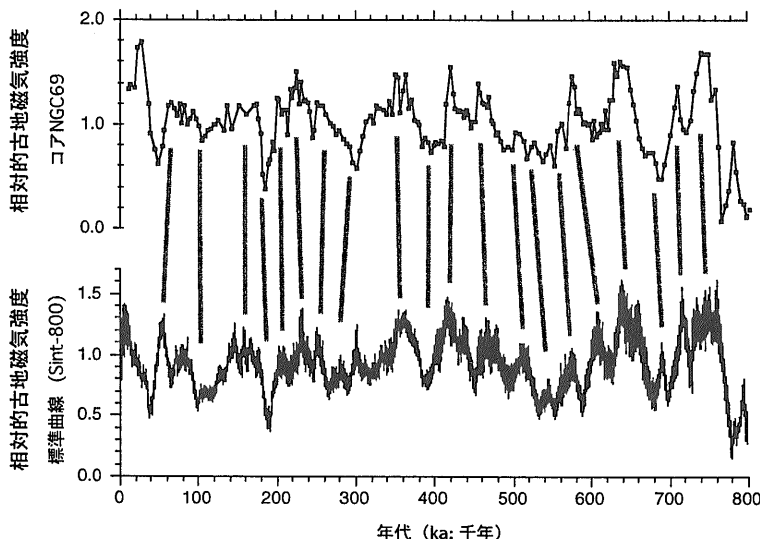
1. 事始め

地質調査所海洋地質部において古地磁気研究が本格的に行われるようになったのは、いわゆる第2次マンガン団塊プロジェクト(工業技術院特別研究「深海底鉱物資源に関する地質学的研究」1979～1983年度)においてである。マンガン団塊の成長と堆積物に記録された海底環境変遷との関連を研究するため、白嶺丸により中部大平洋海域から多数の堆積物コアが採取された。マンガン団塊が存在するのは、生物生産性の低い、堆積速度

の小さな(1cm/1,000年以下)海域であり、多くは炭酸カルシウム補償深度(CCD, 中部大平洋では水深4,500～5,000m程度)以深であるため、堆積物の年代決定には、古地磁気極性(正帯磁・逆帯磁)に基づく古地磁気層序が必要であった。岩石磁気学研究においては、堆積物の残留磁化が海底表層における圧密過程により獲得されることが80年代初めまでに確立されたが、堆積物コアを用いた古地磁気研究の多くは、磁化方位の正逆に基づく古地磁気層序にとどまっていた。我々の研究も同様であった。

2. 古地磁気強度変動

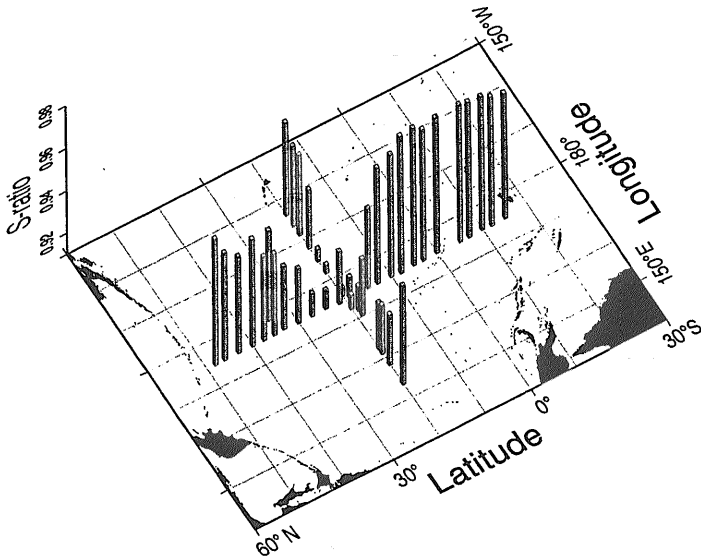
地磁気は、方向だけでなく大きさの次元を持つベクトルである。90年代に入ると、堆積物を用いて過去の地磁気強度を復元しようとする研究が世界



第1図
Guyodo and Valet (1999)のコンパイルによる過去80万年間の古地磁気強度変化曲線(Sint-800)と、海底堆積物コアNGC69の相対的古地磁気強度データ(Yamazaki, 1999)との対比。
古地磁気強度層序により、数万年程度の分解能で第四紀、プルネー松山地磁気逆転境界(78万年前)以降の年代決定が可能であることがわかる。

1) 地質調査所 海洋地質部

キーワード: 古地磁気学, 古地磁気強度, 環境岩石磁気学, 海底堆積物, 走磁性バクテリア, 白嶺丸



第2図

太平洋の表層堆積物のS比。

S比はヘマタイトの様な高保磁力の磁性鉱物とマグネタイトの様な低保磁力の磁性鉱物の含有比を反映する岩石磁気パラメータであり、S比が小さいほど高保磁力の磁性鉱物の割合が大きい。ヘマタイトは風成塵として供給されていると考えられるため、S比は風成塵の寄与を表すパラメータとなる。中緯度域にS比が小さい、すなわち風成塵を主な起源とする堆積物が広がっている様子が示されている (Yamazaki and Ioka, 1997)。

的にさかんになった。現在では、ブルン・クロン(過去約78万年間の正磁極期)の古地磁気強度変動の概要が明らかとなり、古地磁気強度標準曲線(Sint-800; Guyodo and Valet, 1999)が作られた(第1図)。そして、より古い時代にさかのぼる努力が続けられている。地磁気変動は汎世界的であるので、古地磁気強度標準曲線の確立により、古地磁気強度変化を堆積物コアの年代決定や対比に使うことが可能となった。これは古地磁気強度層序と呼ぶことができる。第四紀海底堆積物の年代決定には酸素同位体比層序が広く用いられてきたが、古地磁気強度層序もそれと同等、場合によってはそれ以上の分解能を持つことが期待できる(第1図)。酸素同位体比層序を適用できない、CCD以深の堆積物や縁海・湖沼の堆積物の年代決定には、古地磁気強度層序は特に有用であると考えられる。

堆積物の残留磁化獲得機構は複雑であり、その詳細はいまだに不明の点が多い。堆積物の残留磁化強度は、堆積時(あるいは堆積直後)の地球磁場強度以外にも多くの要素に支配されている。例えば、磁性鉱物の量、種類、粒径、強磁性鉱物間の相互作用などに依存する。その中で(ある程度)補正可能なのは、磁性鉱物の量だけである。さらに堆積後の環境変化や構造運動により、磁性鉱物の成長や溶解が起こり、二次的な残留磁化が獲得される。このような問題から、堆積物から古地磁気強度を求めることは困難であると以前は考えられてい

た。しかし、磁性鉱物の含有量以外の因子が変動しない、すなわち岩石磁気的に均質な堆積物を用いれば、相対的な古地磁気強度を復元できるはずである。我々がこの可能性に気付いたのは1990年頃であった。前述のマンガン団塊研究プロジェクトで蓄積された堆積物コアの残留磁化強度データを検討していて、その変化パターンが、遠く離れた地点の間で偶然にしてはよく似すぎていて、地球磁場そのものの変動を記録している可能性があることに気付いた。これらのコアは遠洋性の生物生産量の小さい海域で採取されたものであり、堆積物としては均質なので古海洋学研究のためには面白味の少ないものであったが、それがかえって幸いしたのである。

同じようなことには皆同じ頃に気づくようで、その後、堆積物を用いた古地磁気強度研究の論文が競って発表されるようになった(例えばValet & Meynadier, 1993; Yamazaki and Ioka, 1994)。我々は、経常研究および工業技術院特別研究「海洋における物質循環の研究」(1991～1997年度)を通じて、古地磁気強度の研究を進めた。当初は、地球磁場変動そのものに対する興味で始めた基礎研究であったが、海底堆積物の新たな高分解能年代決定法という地質学的に重要な応用面がしだいに見えてきた。この研究は、白嶺丸により採取された多数の堆積物コアの存在により可能となった。これらのコアは、西太平洋域の赤道から中高緯度

にかけての広範囲において、さまざまな海洋環境の場所で系統的に採取されており、岩相すなわち岩石磁気的性質の違いが古地磁気強度推定におよぼす影響を評価する上で大変役立った。

地球磁場変動のメカニズムは、依然として未解明の点が多い。地磁気変動と地球軌道要素あるいは古気候変動との因果関係に関するアイデアは70年代から出されていたが、今までは具体的な議論ができるだけのデータが存在しなかった。ブルン・クロンの古地磁気強度変動には、第1図からも読み取れるように、約10万年の周期的成分が存在するように見え、気候変動との関連が注目される(Yamazaki, 1999)。この点については、科学技術振興調整費総合研究課題「全地球ダイナミクス—中心核に至る地球変動原理の解明に関する国際共同研究」(1996～2000年度)の中で研究をすすめているが、今後世界的にさらに議論が白熱するであろう。

3. 環境岩石磁気学

堆積物には、一般に微量ではあるが、普遍的に磁性鉱物が含まれている。そして、堆積物の起源、運搬過程、堆積時や堆積後の環境変動を反映して、磁性鉱物の量、種類、粒子のサイズや形態、粒子配列などが変化する。これを種々の岩石磁気的手法を用いて検出し、古環境・古気候研究に役立てようとする「環境岩石磁気学」と呼ばれる新しい分野が、80年代末頃より発展してきた。これは、地球環境問題の顕在化とともに、古環境に関する研究がさかんになったことも誘因であろうが、岩石磁気分野の測定技術の進歩によるところが大きい。例えば、今では堆積物コアを用いた研究において必須の測定項目であり、コア間の精密対比をはじめ古環境研究に威力を発揮している磁化率は、迅速に測定できる高感度の磁化率計が80年代後半に広まるまで、堆積物について測定されることはほとんどなかった。近年では、極低温領域における磁気特性測定など、物性物理分野の測定技術が岩石磁気研究に応用されるようになった。

環境岩石磁気学の研究例は、北大西洋高緯度域の古海洋学研究(例えばStoner *et al.*, 1996)、中国黄土層における鮮新世—更新世の気候変動研究

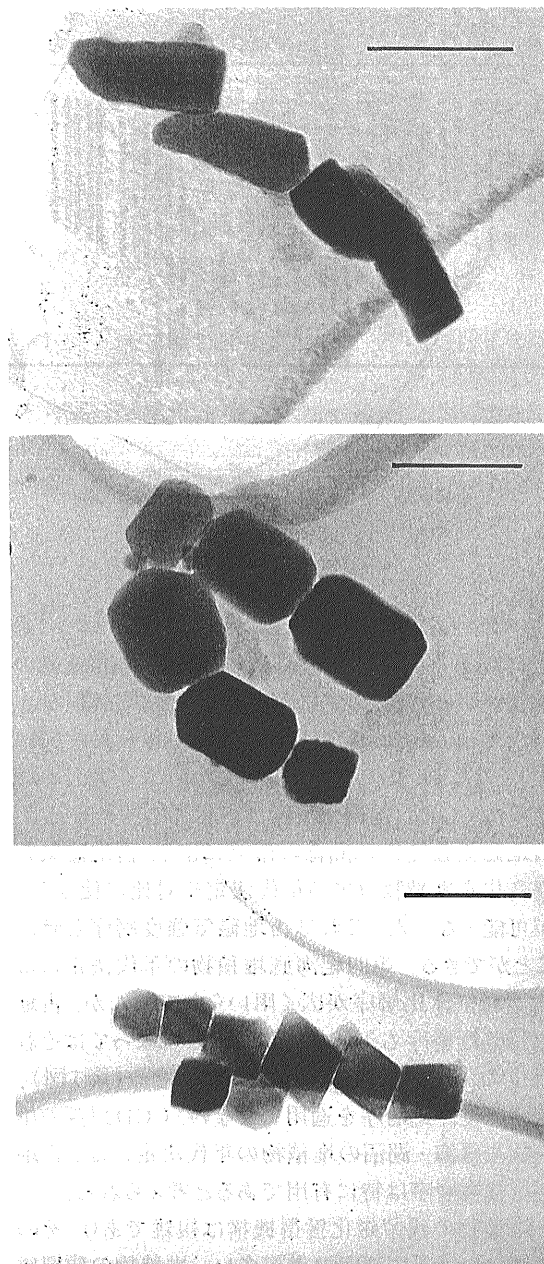


写真1 海底堆積物に含まれる走磁性バクテリア起源のマグネタイトの透過電子顕微鏡写真。粒径が単磁区サイズにそろっていることや、特異な結晶形態(六方柱状(中央)、涙滴状(下))などの特徴をもつ。スケールは100nm。

(例えばHeller and Evans, 1995)、インド洋やアフリカ沖コアを用いたアジア/アフリカ・モンスーンの研究(例えばBloemendal and deMenocal, 1989)など多数報告されている。我々は「海洋における

物質循環の研究」の中で、大太平洋の遠洋性粘土について岩石磁気的研究を行い、北大太平洋中緯度には主な起源が風成塵と考えられる堆積物が広がっていること(第2図)、約250万年前の北半球の寒冷化に伴い風成塵の供給が増大したこと、風成塵の供給には40万年程度の周期的変動が見られることなどを明らかにした(Yamazaki and Ioka, 1997)。また最近では、工業技術院特別研究「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究」(1994-1999年度)において、日本海の古環境変遷の研究に環境岩石磁気学的手法を適用する試みを行っている。これらの研究も、太平洋の広域、あるいは日本海において、白嶺丸により系統的に採取された堆積物に支えられてきた。

堆積物中の磁性鉱物として、地質過程で無機的に形成される鉱物のほかに、生物起源の磁性鉱物(マグネタイトまたはグレイガイト)の存在が目ざされている。これは、走磁性バクテリアの細胞内に生成された磁性鉱物が、バクテリアの死後に堆積物中に残されたもので、磁石化石(magnetofossil)と呼ばれ、堆積物の残留磁化の担い手として重要と考えられる。走磁性バクテリア起源のマグネタイトは、サイズが単磁区領域にそろふこと(マグネタイトの場合、形態によるが30~150nm程度)、地質過程ではできない六方柱状や涙滴状といった特異な結晶形態(写真1)、チタンを含まない純粋な化学組成などで特徴づけられる。走磁性バクテリアの種により生成されるマグネタイトの結晶形態は異なっているが、海底表層堆積物の磁石化石の結晶形態と堆積環境の研究から、結晶形態と堆積物の酸化/還元環境との間には相関があることが明らかとなった(Yamazaki and Kawahata, 1998)、これは、磁石化石が示相化石として古環境研究に役立つことを示している。

4. おわりに

堆積物は、地球磁場変動を連続的に記録してい

る可能性のある唯一の物質である。地磁気変動はグローバルな現象であり、古地磁気研究のためには、地球上に均等に分布した地点において詳細な地磁気変動記録が得られることが理想的である。これまで述べてきたように、白嶺丸により採取されたコアが古地磁気学の発展に重要な役割を果たしてきた。しかし、高品質な古地磁気データの蓄積が依然として必要であり、船舶で良質な海底堆積物コアを採取することの重要性は増すことはあれ減少しないであろう。

文 献

- Bloemendal, J. and deMenocal, P. (1989) : Evidence for a change in the periodicity of tropical climate cycles at 2.4 Myr from whole-core magnetic susceptibility measurements, *Nature*, 342, p.897-900.
- Guyodo, Y. and Valet, J.-P. (1999) : Global changes in intensity of the Earth's magnetic field during the past 800 kyr, *Nature*, 399, p.249-252.
- Heller, F. and Evans, M.E. (1995) : Loess magnetism, *Rev. Geophys.*, 33, p.211-240.
- Stoner, J.S., Channell, J.E.T. and Hillaire-Marcel, C. (1996) : The magnetic signature of rapidly deposited detrital layers from the deep Labrador Sea: Relationship to North Atlantic Heinrich layers, *Paleoceanography*, 11, p.309-325.
- Valet, J.-P. and Meynadier, L. (1993) : Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years, *Nature*, 366, p.234-238.
- Yamazaki, T. (1999) : Relative paleointensity of the geomagnetic field during the Brunhes Chron recorded in North Pacific deep-sea sediment cores: orbital influence? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 169, p.23-35.
- Yamazaki, T. and Ioka, N. (1994) : Long-term secular variation of the geomagnetic field during the last 200 kyr recorded in sediment cores from the western equatorial Pacific, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 128, p.527-544.
- Yamazaki, T. and Ioka, N. (1997) : Environmental rock-magnetism of pelagic clay: Implications for Asian eolian input to the North Pacific since the Pliocene, *Paleoceanography*, 12, p.111-124.
- Yamazaki, T. and Kawahata, H. (1998) : Organic carbon flux controls the morphology of magnetofossils in marine sediments, *Geology*, 26, p.1064-1066.

YAMAZAKI Toshitsugu (2000) : Progress in paleomagnetism and rock magnetism using sediments collected by R/V Hakurei-maru.

<受付: 2000年4月7日>