

堆積物の磁化を測ってわかる (知りたい) こと

— 旧石油公団が「南極地域石油天然ガス基礎地質調査」(FY1980–1999) で取得した海底堆積物コアの再測定から —

森尻理恵¹⁾・中井睦美²⁾・上野直子³⁾・荻島智子⁴⁾

1. はじめに

堆積物コアの岩石磁気研究は、1980年代末ころから測定技術の進歩とともに急速に発展してきた。例えば、磁化率測定は現在では必須項目としてルーチン化されているが、1980年代末までは堆積物について測定されることはほとんどなかった(山崎, 2000)。「南極地域石油天然ガス基礎地質調査 (FY1980–FY1999)」というプロジェクトは、当時の通商産業省から石油公団石油開発技術センターへの委託事業であった。地質調査総合センター(以下GSJ; 当時は地質調査所)はこのプロジェクトに深く関わり(村上, 2000)、多くの研究成果をあげてきた(例えばNishimura *et al.*, 1998)。ただし、堆積物の磁性の研究について言えば、石油公団のプロジェクトにおいて採取されたコアのほぼ全部について磁気データが公開されているのは、自然残留磁化(NRM)がTH84航海(1984年度)から、磁化率はTH93航海(1993年度)からである。

プロジェクト終了後の2002年4月に、堆積物コアが石油公団からGSJへ移管され、所定の手続きを経て利用可能となった(ただし、石油公団では冷蔵保存されていたが、GSJでは常温保存となっている)。また、石油公団報告書も閲覧可能となった(藤本ほか, 2003)。そこで、筆者の1人である中井が代表となって科研費(課題番号15540442)を得て、GSJへ移管された堆積物コアを利用して、4人で磁気パラメーターの追加測定、再測定を行った。実質的には、私立大学の教員である中井が京都大学へ1年間国内留学する権利を得た時期に合わせて共同研究を行ったものである。測定の大部分は京都大学、同志社大学と高知大学海洋コア総合研究センター(共同利用研究04B006)で行われた。具体的な測定方法と主な測定結果は、森尻ほか(2005)と中井ほか(2006)で既に報告済

である。

その後、南極海では統合国際深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program, IODP)の第318次航海が実施され、新しい研究成果も公表されつつある(例えばPatterson *et al.*, 2014; Tauxe *et al.*, 2015)。

本稿では、自分たちが測定したコア21本分のBanerjee-King plotを作成し公開するものである。このプロットはあとで簡単に説明するが、磁性鉱物の粒子の大きさを推定するためのものである。環境磁気学的研究では、試料中の微量・微細磁性鉱物の種類、量、大きさなどの情報を得ることを目的とする。粒子の大きさのバリエーションを面的に知ることができれば、南極海域の堆積環境の推定につながる情報となる。もちろん、これだけで解ってしまうわけでは決してない。そもそも、南極海域は環境が過酷なためデータが少ない。また、堆積学の研究において有力なデータとなる微化石が少ないらしい。そこで、この石油公団のプロジェクトで得られたコアは、南極大陸を一周する海域で系統的に採取されている上に、その他の地球物理学的なデータも同時に得られている大変貴重なものである。ところが実際には、公開された堆積物コアは古いものでは採取から20年以上経っているので、保存状態が良いと言っても鮮度が大事な(?)化学的な研究の試料とするには難しいという話を聞いた。もちろん基本的なものは石油公団のプロジェクトでデータが出ているので、それ以上のものを知りたいとなると、このコアは残念ながら引く手数多というわけではないらしい。その中で、磁気的な研究は、保存されていたコアを使った研究でも比較的安定したデータが報告されていた(Matsuoka and Funaki, 2003)。

実は、私たちが当初の目論見はいくつかあったのだが、実験の進め方がまずかった部分もあり、目標に対して思うようなデータが出せなかったものもあった。そのため、

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター

2) 大東文化大学

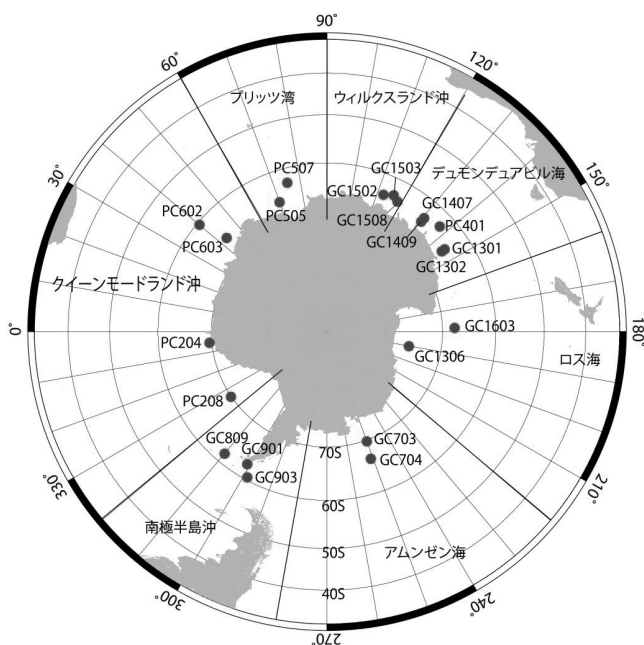
3) 元・東洋大学

4) 目白研心中学・高等学校

キーワード: 磁性鉱物, 南極海, 海底堆積物コア, 再測定, Banerjee-King plot, GSJ, JNOG

前述の2本の論文も測定データの公開を主目的としており、だからどうしたということまでは言っていない。地球科学のように研究対象が大きくなると、個人または1つのグループでできることはたかが知れているので、研究の節目節目にはデータを抱え込まずに論文を書くようにと言われてきた（そう言われても簡単なことではないが・・・）。著者の1人の上野は既に定年退職し、研究の中心だった中井も地球科学から離れた立場に学内で異動したことから、これ以上は自分達では無理だと判断した。そこで論文ではないが、堆積物コアの磁気的な研究の一端を紹介する目的で、森尻が整理して預かっている分のデータの追加分を公開することにした。

環境磁気学の基礎的な部分については鳥居（2005）のレビュー等を参考にして頂きたい。ただし、鳥居（2005）も言っているように、微量・微細磁性鉱物の種類、量、大きさなどを推定するのに必要な磁気的な情報は、多くの場合複合的であり、独立に評価できることはほとんどない。よって、特に1種類のデータだけで考察を行うのは避けたいと思う。

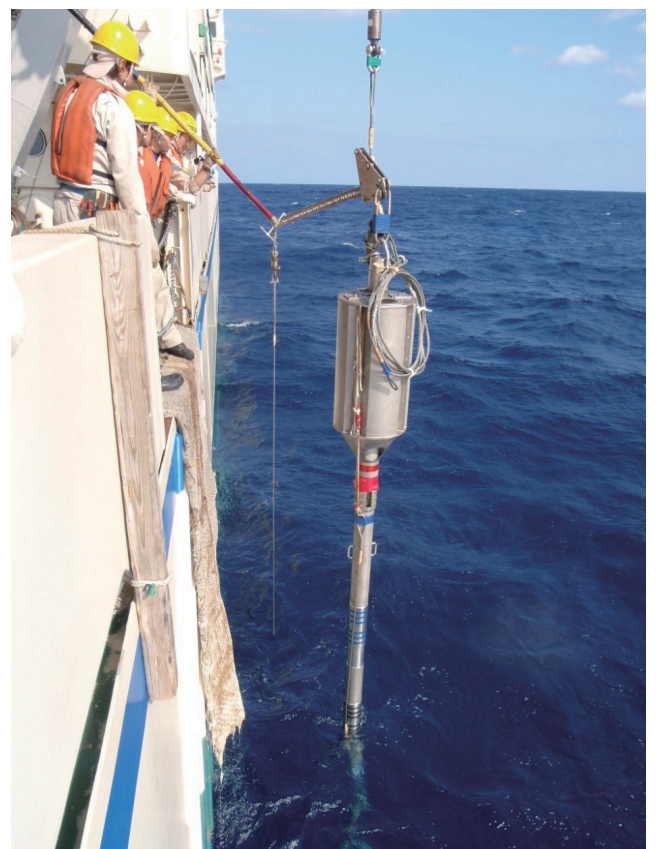


第1図 使用したコアの採取点分布図。経度は東回りが正である。GCはグラビティコア、PCはピストンコアを示す。クイーンモードランド沖（Off Queen Maud Land）、プリッツ湾（Prydz Bay）、ウィルクスランド沖（Off Wilkes Land）、デュモンデュアビル海（Dumont d'Urville Sea）、ロス海（Ross Sea）、アムンゼン海（Amundsen Sea）、南極半島沖（Off Antarctic Peninsula）の海域ごとの区切り線は旧石油公団の報告書（藤本ほか、2003）に従った。

2. 海洋底堆積物コアの採取方法

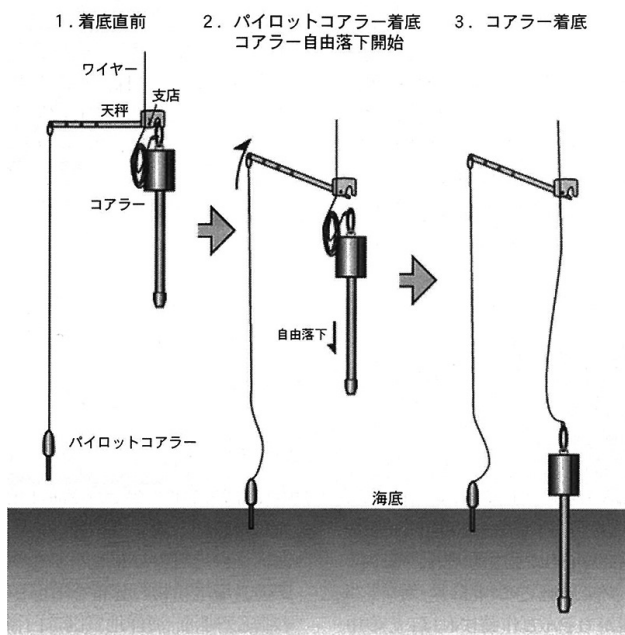
使用したコアの採取位置を第1図に示す。ここでPCと記されているものはピストンコアラーによって採取され、GCと記されているものはグラビティコアラーによって採取されている。磁気パラメーターの測定について述べる前に、海底堆積物コアの採取方法について簡単に触れる。

海底堆積物は、調査船の脇からワイヤーでコアラーと呼ばれる採泥器を下ろしていき、海底にパイプを突き刺して表層堆積物を柱状に抜き取る。石油公団のプロジェクトで用いられたものはピストンコアラーとグラビティコアラーの2種類である。第2図は、海域は違うがグラビティコアラーの投入風景（片山、私信）である。地質情報研究部門海洋地質研究グループのウェブサイト（<https://unit.aist.go.jp/igg/mgl-rg/ja/photo/index.html>, 2015年12月25日確認）に、海域は違うが、数種類の採泥器の写真、投入風景、堆積物採取後の処理風景の写真が公開されているので参照されたい。ピストンコアラーとグラビティコアラーの違いは海底に突き刺すパイプの長さや口径と堆積物の採取方法である。ピストンコアラーはパイプ内にピストンがあることによって、パイプを堆積物に押し込む力とピストンが堆積物を吸い上げる力のバランスを取



第2図 グラビティコアラー投入の様子（片山、私信）。

り、効果的に採泥しようとするものである。パイプの長さは12 m程度のもので多く使われている。ただし、長いコアを採取可能であるが吸引に失敗すると、上部の構造を乱してしまうことが多い。一方、グラビティーコアラは自由落下によって堆積物に二重構造のパイプを突き刺し採取する方法である。採取できる長さは5 m程度とピストンコアラに比べて短い、パイプの口径が大きく堆積物を比較的乱さずに採取できるという特徴がある。具体的には、第3図(辻野ほか, 2005)に示すように、グラビティーコアラはおもり(ヘッド)の下にパイプ(バレル)をつけた構造になっており、これとパイロットコアラを、バランスを取るように天秤で吊る。採取地点の水深や海況にもよるが、ワイヤーの張力をモニターしながら毎分60 m位ずつ繰り出して、コアラを海底下に下ろしていく。水深の30~40 m上方になったら、ワイヤーのスピードを緩めて毎分30 mずつ繰り出していき、まずパイロットコアラを着底させる。そうすると天秤のバランスがくずれ、天秤が傾きコアラ本体が落下するというものである。自由落下する海底面からの高さは堆積物をたくさん採取できるかどうかにかいてくる重要なパラメーターで通常は2~3 mである。これはパイロットコアラを吊すロープの長さで調整できる。自由落下の勢いで、バレルが海底に刺さり堆積物を柱状に採取する。揚収するときは、ワイヤーを毎分60 mのスピードで慎重に巻き上げていく。海には流れがあり、波によって船体が揺らされるために、投入と揚収作業には技術と経験が必要である。



第3図 グラビティーコアラの動作原理。辻野ほか(2005)より転載。

3. 磁気パラメーターの測定

このようにしてパイプの中に入った堆積物は、船上で内側のパイプごと縦に半割りにされ、研究者によって切断面の記載が行われる。そののち研究目的に応じて実験や分析に用いられる試料が抜き取られ、各種の研究が行われる。通常、パイプに残った堆積物は乱さないように、試料を抜いた後にスチロール片を詰めて、きっちり蓋をして冷蔵または常温で保存される。筆者らが使用させて頂いたのは、このようにして冷蔵(GSJに移管されてからは常温)保存されていた堆積物コアである。磁気パラメーターに関する測定項目は第1表に示した。1~4の結果は森尻ほか(2005)で、5~8の結果のうちウィルクスランド沖とデュモンデュアビル海のものの中井ほか(2006)で報告されている。森尻ほか(2005)では、第1図に示した21本のコアについて、磁化率、自然残留磁化(NRM)強度、NRM伏角、非履歴性残留磁化(ARM)を加えた直流磁場で規格化したARM磁化率、飽和等温残留磁化(SIRM)、ARM/SIRM、S比を深さに沿って示している。ここでのS比は $S_{0.3T} = [1 - IRM_{0.3T} / SIRM] / 2$ (Bloemendal *et al.*, 1992)を採用した。IRM_{0.3T}とはSIRMとは逆向きに大部分のマグネタイトの等温残留磁化(IRM)が飽和する磁場0.3 Tをかけて獲得させた磁化である。ウィルクスランド沖で得られたPC404は都合によりARM着磁実験を行っていないので、磁化率、自然残留磁化(NRM)強度、NRM伏角、飽和等温残留磁化(SIRM)、S比のみを深さに沿って示している。また、中井ほか(2006)では、このPC404も含めたウィルクスランド沖とデュモンデュアビル海で得られたコア8本について、パイロット試料の段階交流消磁結果、パルス磁化装置で段階的に着磁したIRMの付加曲線、高温熱磁化曲線、低温磁化曲線、ヒステリシスパラメータを示した。それらのデータから、主として磁化を担っている磁性鉱物はマグネタイトを含むマグヘマイトと推定され、安定した自然残留磁化を持っていると報告している。

磁化を担っている磁性鉱物の粒子サイズを推定するのにDay plotと呼ばれるダイヤグラム(Day *et al.*, 1977; Dunlop, 2002)がしばしば用いられる。これは、磁化を担っている鉱物が主としてマグネタイトである場合、磁気ヒステリシスループの解析から得られる飽和磁化(Ms)、飽和残留磁化(Mrs)、保磁力(Bc)、残留磁化の直流消磁によって求められる残留保磁力(Bcr)から、Bcr/Bcを横軸に、Mrs/Msを縦軸とするグラフを作成するというものである。そこで、試料がどの範囲にプロットされるかによって磁区構造を推定する。単磁区(SD)構造は粒子が

第1表 測定項目.

1. 自然残留磁化(NRM)
2. 初期磁化率
3. 段階交流消磁を伴うNRM
4. ARMを獲得させたのち段階交流消磁
5. 飽和等温残留磁化(SIRM)獲得実験と逆等温残留磁化(BIRM)獲得実験
6. ヒステリシス測定
7. 高温熱磁化分析(キュリー点)
8. 低温熱磁化分析(フェルペー点)

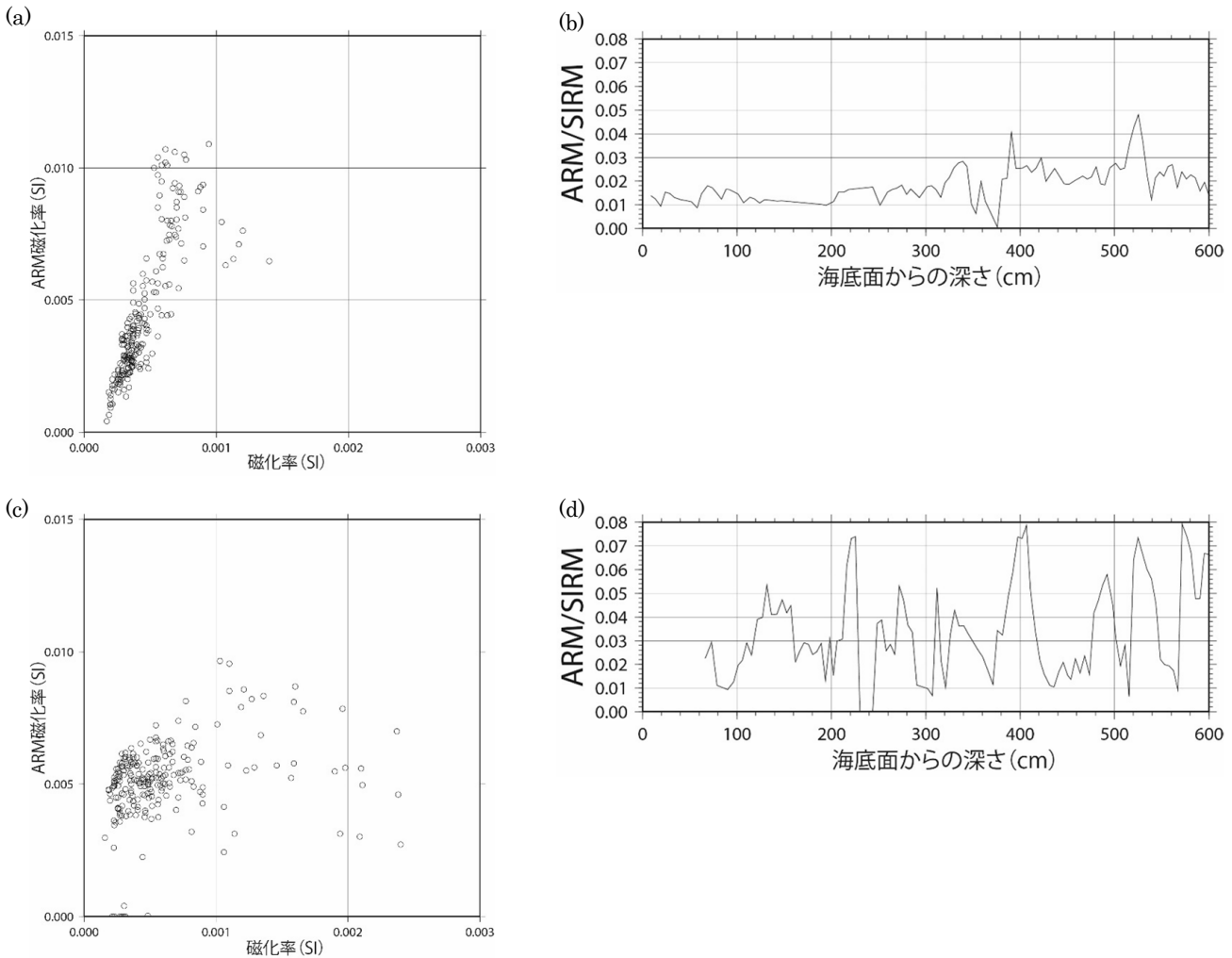
細かく、多磁区(MD)構造は粒子が大きい。それとは別に、ここで紹介する Banerjee-King plot は、横軸に初期磁化率、縦軸に ARM 磁化率をプロットするものである。初期磁化率や ARM はヒステリシスパラメータに比べ、測定が容易なので、多量の試料について適用されている。ARM は交流磁場の振幅を徐々に減少させながら同時に直流磁場を加える過程で獲得される磁化を言う。近年、多くの研究機関に導入されているパルス型磁力計測装置・非履歴残留磁化器(2G Enterprises 760R など <http://www.kochi-core.jp/institution/magnetism.html#2>; 2015年12月25日確認)では、段階交流消磁による NRM の測定に加えて ARM の獲得実験も一連の作業として自動で行うことができる。ARM の獲得効率は、単磁区領域では初期磁化率よりも高いので、Banerjee *et al.* (1981) は横軸に初期磁化率、縦軸に ARM というグラフを作成し、勾配が大きいほどマグネタイトの粒径が小さくなっていることを見出した。それを受けて King *et al.* (1982) が、縦軸を ARM 磁化率として比が無名数となるよう改良を行った。森尻ほか(2005)では、磁化率も ARM 磁化率も公表しているが、Banerjee-King plot を作成していなかった。その代わりに、マグネタイトの粒子サイズの深さ方向の変動データとして、ARM/SIRM を示している。これは、ARM は単磁区領域で獲得効率が非常に高いが、SIRM は粒子サイズに依存しないことより、ARM/SIRM が大きいと粒子サイズが小さくなることを示す。ただし、ARM は磁性鉱物間の磁気相互作用の大きさに敏感なので(Sugiura, 1979; Yamazaki, 2008)、解釈はそう簡単ではない。近年では、FORC(First order reversal curves)ダイアグラムという方法(Pike *et al.*, 1999)が盛んに行われていて、保磁力ごとの磁気的な相互作用の大きさを示すことで、どのような粒径分布をしているのか推定されている。

4. Banerjee-King plot

Banerjee-King plot については、原著論文(Banerjee

et al., 1981; King *et al.*, 1982) または『Environmental Magnetism (Evans and Heller, 2003)』のような教科書を参考にして頂きたい。さらに、King *et al.* (1982) や Evans and Heller (2003) では、磁性鉱物がマグネタイトであるとしたときの粒子サイズの目安のラインが引いてあるが、自分たちのデータではきっちりとした岩石磁気学的な検討を行っていないので、おおまかに「傾きが大きい方は粒子が細かい」程度の解釈にとどめたい。森尻ほか(2005)に示したコアごとに ARM/SIRM を深さ方向にプロットした図を見ると、一様ではなくそれなりに変動しているものも多い。Banerjee-King plot にいくつかの傾きのグループが見られるのは、コアの堆積物が一様ではないためと推察される。例えばクイーンモードランド沖で得られた PC208 と PC602 (第1図)について ARM/SIRM を第4図に示す。PC208 の Banerjee-King plot は比較的データが直線に集まっているが、PC602 は分散している。これは深さ方向の粒子の大きさの変動が PC208 は比較的少なく、PC602 は大きいためと考えられる。

各コアの採取点情報は第2表に示した。第5図から第11図が海域ごとのプロットになっている。傾きが見やすいように、図の軸は統一してある。例えば、デュモンデュアビル海で得られた GC1409 (第8図c) とアムンゼン海で採取された GC704 (第10図b) を比べると、明らかに GC704の方が GC1409よりも勾配が大きく、粒子が細かいと言える。第1図に示された21本のコアについて、Evans and Heller (2003) に示されている粒子サイズが $0.1 \mu\text{m}$ に相当するラインより傾きが大きいもの(粒子が細かい)と傾きが小さいもの(粒子が粗い)とに分けてみた。ちなみに $1 \mu\text{m}$ のラインよりも傾きが小さい(粒子が粗い)コアはなかったもので、全般的に粒子が細かいといえるだろう。第12図の■で示したものは粒子がやや粗く、●で示したものは粒子が細かいということになるが、いかがだろうか。



第4図 クイーンモードランド沖で得られたPC208とPC603のBanerjee-King plotと深さに対するARM/SIRM曲線。森尻ほか(2005)のデータによる。(a) PC208のBanerjee-King plot。第5図(a)と同じ。(b) PC208のARM/SIRMの深さ方向の変化。(c) PC602のBanerjee-King plot。第5図(c)と同じ。(d) PC602のARM/SIRMの深さ方向の変化。

5. おわりに

本稿の目的は、海底堆積物の研究で行われている磁気的な手法の一つを紹介したものであって、南極海の堆積環境について議論するものではない。実際の粒子の大きさの推定には、他の様々な要素を考えあわせてうえで慎重に進めることが不可欠である。しかしながら、貴重な試料を使わせて頂いたのだから、測定結果はできるだけ公表するのが義務だと考えていた。本来は論文という形できちんと議論に乗せるのが理想的なのだが、力不足もあってなかなかきれいにまとまらず、放置していた。何の気なしに地質情報研究部門海洋地質研究グループの片山 肇氏に Banerjee-King plot を見せたところ、「面白い」と言われ、そう言ってもらえるならば出すだけは出そうと思いついたのだった。ただ、さすがに論文にするにはデータが足りないのと、メンバーの都合もあって、海底堆積物の磁気的な研究

の一端を紹介する記事の一部として公開することにした。グラビティーコアラの写真を使わせて頂き、背中を押してくださった片山氏に感謝いたします。また、東京大学大気海洋研究所の山崎俊嗣教授には原稿に目を通して頂き、有益なご意見、ご教示を頂いた。さらに、地質情報研究部門地球変動史研究グループの七山 太氏にも有意義なご指摘を頂いた。特にこの御三方に謝意を表します。なお、図の多くは GMT の ver.3 (Wessel and Smith, 1998) を用いて作成した。

文 献

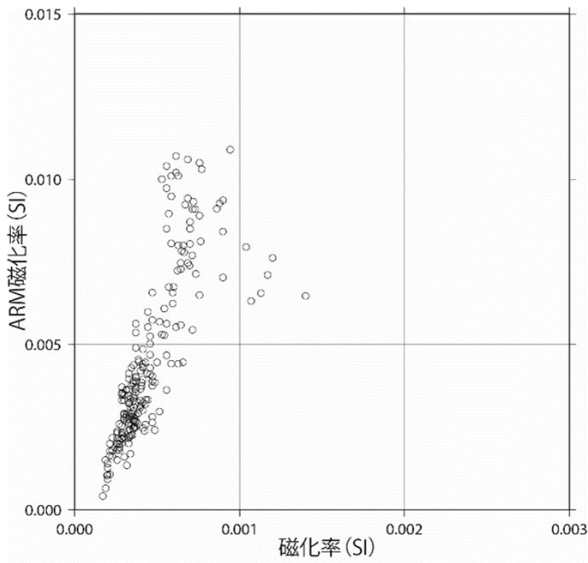
Banerjee, S.K., King, J. and Marvin, J. (1981) A rapid method for magnetic granulometry with applications to environmental studies. *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 333-336.

第2表 コアの採取点情報 (森尻ほか, 2005 より抜粋). PC:ピストンコア, GC:グラビティーコア.

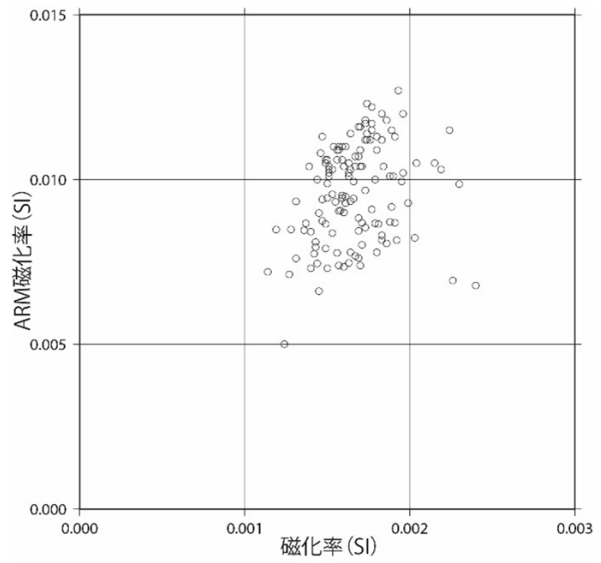
航海名	コア	海域	緯度・経度 (度)	水深(m)
TH81	PC204	クイーンモードランド沖	05.343W, 69.570S	1844
TH81	PC208	クイーンモードランド沖	34.215W, 69.906S	4360
TH83	PC401	デュモンデュアビル海	137.018E, 62.831S	3816
TH84	PC505	ブリッツ湾	69.876E, 65.863S	2481
TH84	PC507	ブリッツ湾	75.123E, 62.817S	3805
TH85	PC602	クイーンモードランド沖	40.008E, 60.442S	4639
TH85	PC603	クイーンモードランド沖	43.080E, 66.001S	3157
TH86	GC703	アムンゼン海	109.979W, 69.765S	3710
TH86	GC704	アムンゼン海	109.027W, 66.536S	4524
TH87	GC809	南極半島沖	49.986W, 61.851S	3315
TH88	GC901	南極半島沖	58.994W, 62.744S	1455
TH88	GC903	南極半島沖	61.3089W, 60.534S	3639
TH92	GC1301	デュモンデュアビル海	145.017E, 64.829S	3341
TH92	GC1302	デュモンデュアビル海	144.992E, 65.485S	2537
TH92	GC1306	ロス海	169.993W, 75.770S	1450
TH93	GC1407	デュモンデュアビル海	130.518E, 63.749S	3687
TH93	GC1409	デュモンデュアビル海	130.498E, 64.583S	1318
TH94	GC1502	ウィルクスランド沖	112.340E, 63.990S	2656
TH94	GC1503	ウィルクスランド沖	115.995E, 63.292S	3368
TH94	GC1508	ウィルクスランド沖	118.438E, 63.999S	3232
TH95	GC1603	ロス海	178.283E, 67.821S	3326

- Bloemendal, J., King, J.W., Hall, F.R. and Doh, S.J. (1992) Rock magnetism of Late Neogene and Oligocene deep-sea sediments: relationship to sediment source, diagenetic process, and sediment lithology. *J. Geophys. Res.*, **97**, 4361-4375.
- Day, R., Fuller, M. and Schmidt, V.A. (1977) Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Phys. Earth Planet. Inter.* **13**, 260-267.
- Dunlop, D.J. (2002) Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *J. Geophys. R.* **107**, EPM4 1-22.
- Evans, M. E. and Heller, F. (2003) Environmental Magnetism: Principles and Applications of Environmental Magnetism. *Academic Press, USA*, 299p.
- 藤本正道・林 雅雄・佐藤春香・辻 喜弘 (2003) 南極地域石油天然ガス基礎地質調査—既往成果のまとめと保管について—。石油開発技術センター年報 2002, 255-257.
- King, J. W., Banerjee, S. K., Marvin, J. and Oezdermir, Oe. (1982) A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural material: some results from lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, 404-419.
- Matsuoka, H. and Funaki, M. (2003) Characteristics of the natural remanent magnetization (NRM) of a core collected from offshore Wilkes Land, East Antarctica. *Antarctic Record*, **47**, 315-327.
- 森尻理恵・中井睦美・上野直子・荻島智子 (2005) 南極地域石油天然ガス基礎地質調査 (FY1980-FY1999) によって得られた海底堆積物コアの古地磁気・岩石磁気測定。地質調査研究報告, **56**, 341-373.
- 村上文敏 (2000) 白嶺丸による南極調査。地質ニュース, no. 551, 51-56.
- 中井睦美・森尻理恵・上野直子・荻島智子 (2006) 南極ウィルクスランド沖とデュモンデュアビル海の海底堆積物コア試料中の磁性鉱物について。大東文化大学紀要, **44**, 1-16.
- Nishimura, A., Nakasone, T., Hiramatsu, C. and Tanahashi,

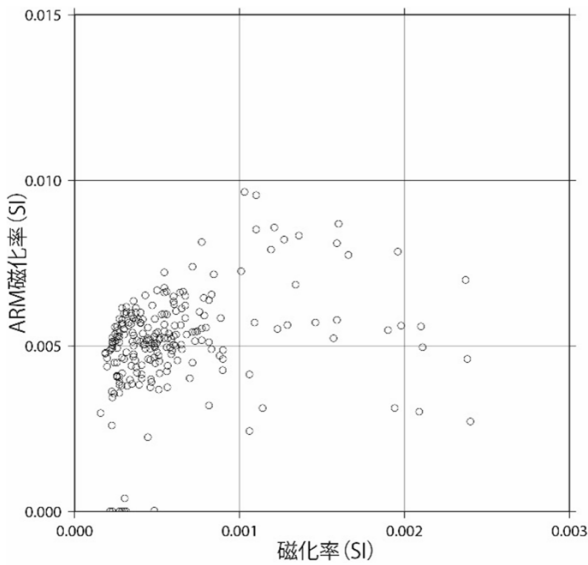
(a)PC208 (4360 m)



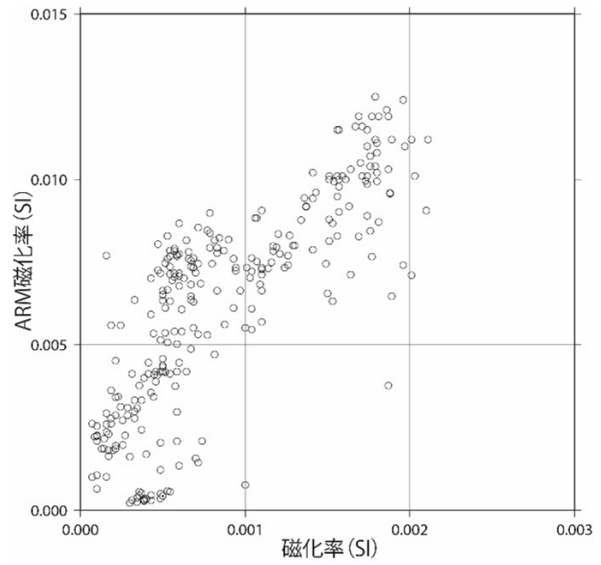
(b)PC204 (1844 m)



(c)PC602 (4639 m)



(d)PC603 (3157 m)



第5図 クイーンモードランド沖で得られたコア(PC208, PC204, PC602, PC603)のBanerjee-King plot. 横軸は磁化率(magnetic susceptibility), 縦軸はARM磁化率(ARM-susceptibility). コア名の隣の()は水深.

M. (1998) Late Quaternary paleoenvironment of the Ross Sea continental shelf, Antarctica. *Annals of Glaciology*, **27**, 275–280.

Patterson, M.O., McKay, R., Naish, T., Escutia, C., Jimenez-Espejo, F.J., Raymo, M.E., Meyers, S.R., Tauxe, L., Brinkhuis, H. and IODP Expedition 318 Scientists (2014) Orbital forcing of the East Antarctic ice sheet during the Pliocene and Early Pleistocene. *Nature Geoscience*, **7**, 841–847.

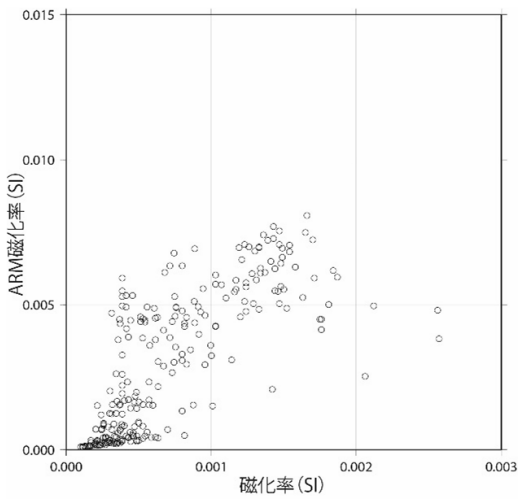
Pike, C.R., Roberts, A.P. and Verosub, K.L. (1999)

Characterizing interactions in fine magnetic particle systems using first reversal curves. *J.Appl.Phys.*, **85**, 6660–6667.

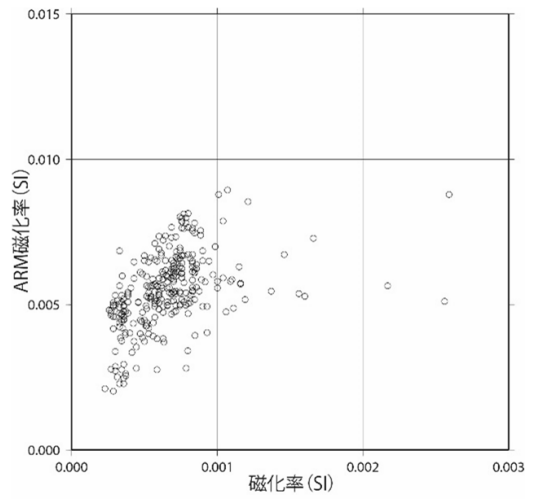
Sugiura, N. (1979) ARM, TRM and magnetic interactions: Concentration dependence. *Earth and Planetary Science Letters*, **42**, 451–455.

Tauxe, L., Sugisaki, S., Jimenez-Espejo, F., Escutia, C., Cook, C.P., van de Fleirdt, T. and Iwai, M. (2015) Geology of the Wilkes land sub-basin and stability of the East Antarctic Ice Sheet: Insights from rock magnetism

(a) PC505 (2481 m)

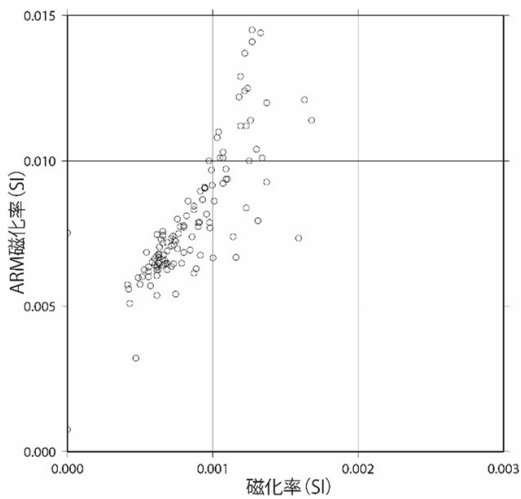


(b) PC507 (3805 m)

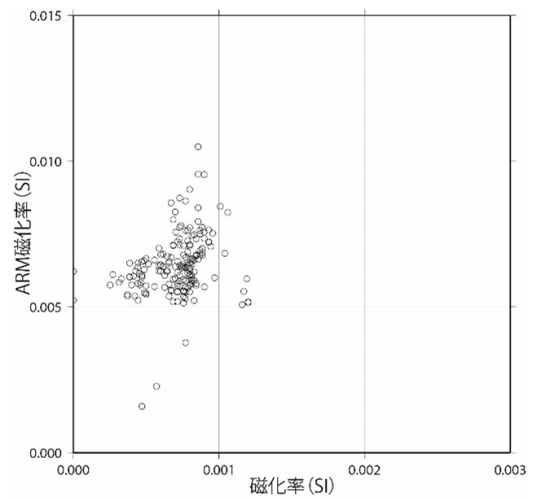


第6図 プリッツ湾で得られたコア (PC505, PC507) の Banerjee-King plot. 横軸は磁化率 (magnetic susceptibility), 縦軸は ARM 磁化率 (ARM-susceptibility). コア名の隣の () は水深.

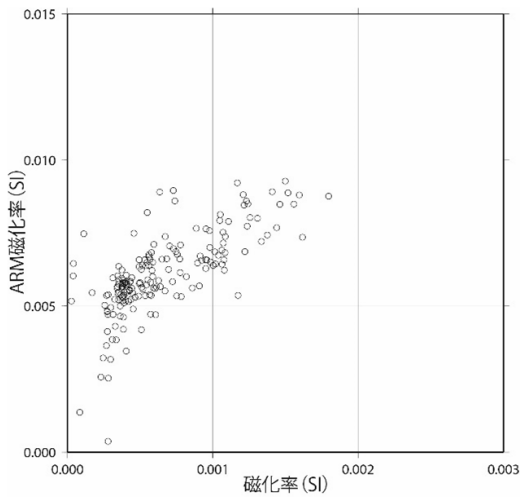
(a) GC1502 (2656 m)



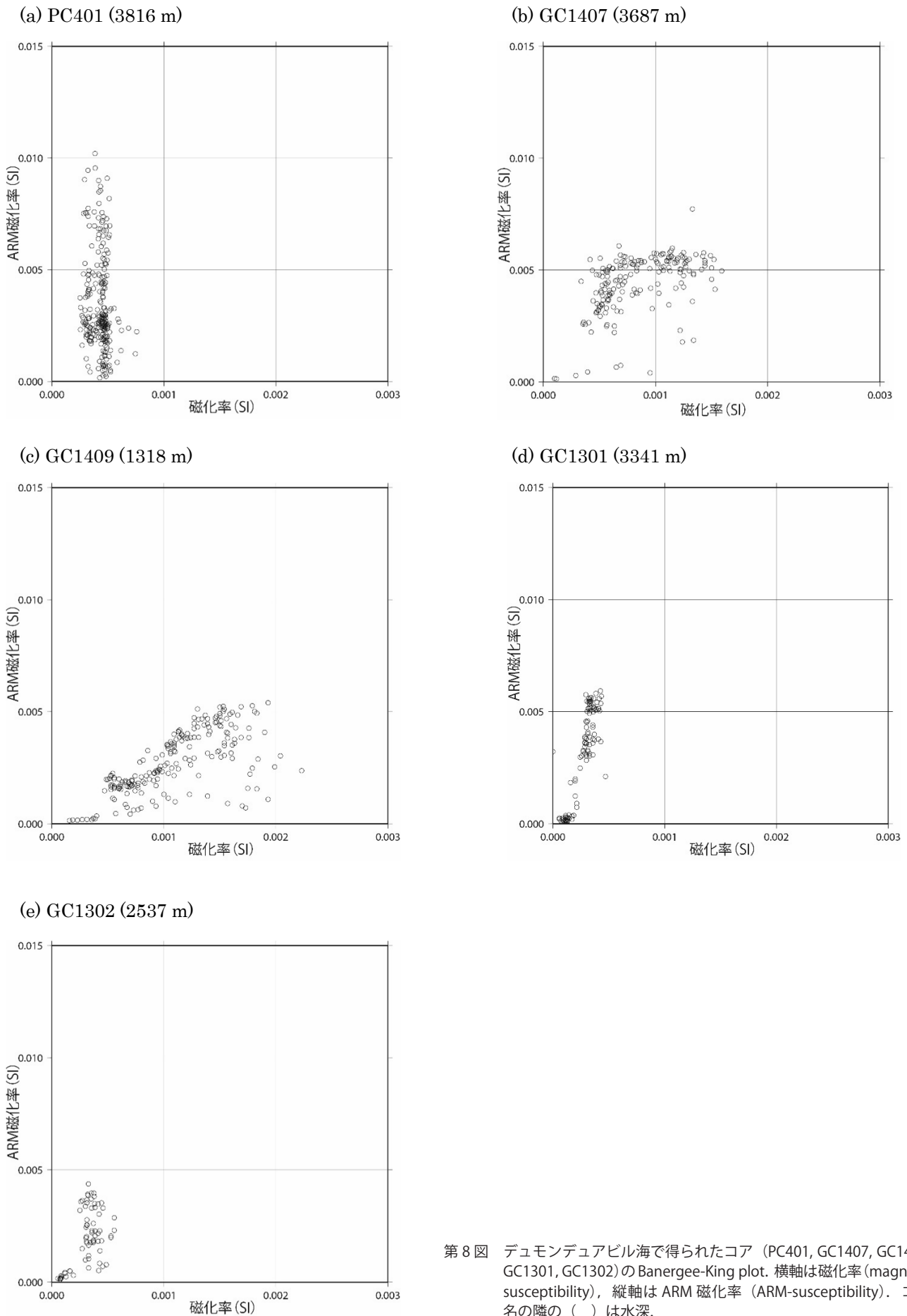
(b) GC1503 (3368 m)



(c) GC1508 (3232 m)

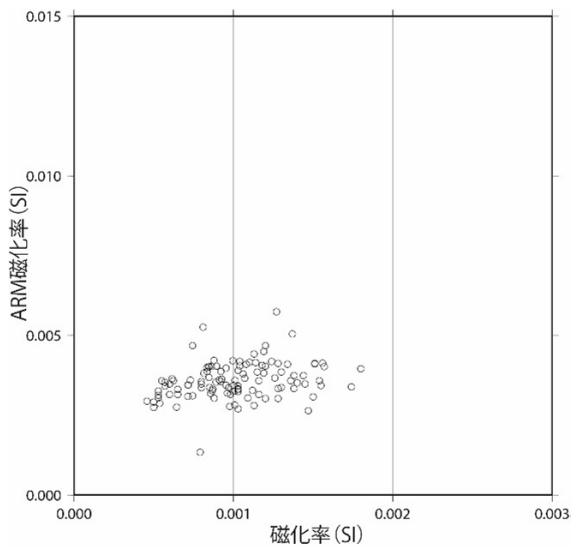


第7図 ウィルクスランド沖で得られたコア (GC1502, GC1503, GC1508) の Banerjee-King plot. 横軸は磁化率 (magnetic susceptibility), 縦軸は ARM 磁化率 (ARM-susceptibility). PC404 は ARM 着磁実験を行わなかったため除外. コア名の隣の () は水深.

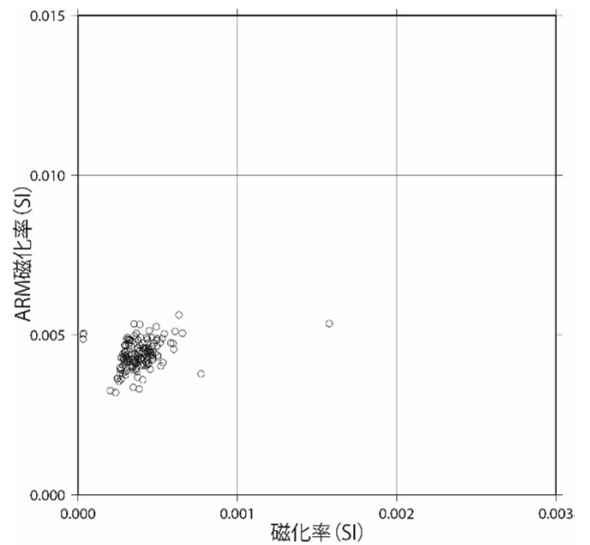


第 8 図 デュモンデュアビル海で得られたコア (PC401, GC1407, GC1409, GC1301, GC1302) の Banerjee-King plot. 横軸は磁化率 (magnetic susceptibility), 縦軸は ARM 磁化率 (ARM-susceptibility). コア名の隣の () は水深.

(a) GC1306 (1450 m)

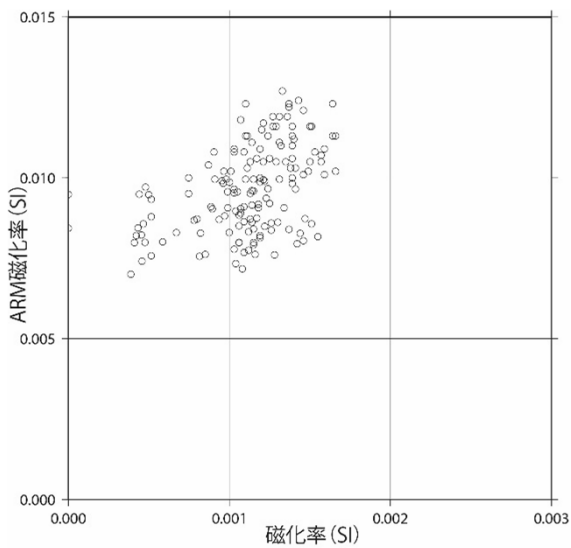


(b) GC1603 (3326 m)

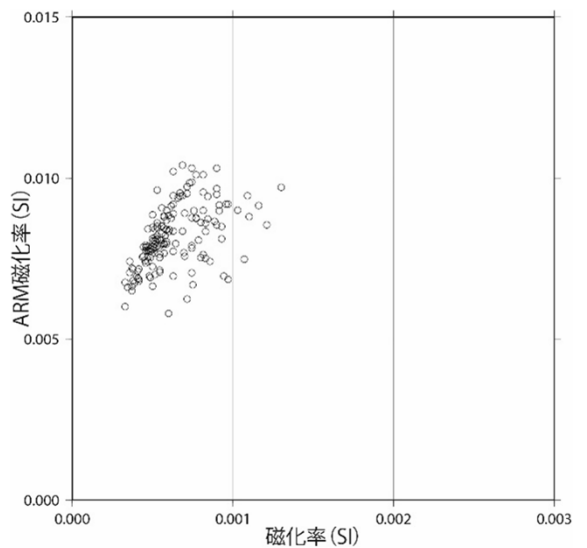


第9図 ロス海で得られたコア (GC1306, GC1603) の Banerjee-King plot. 横軸は磁化率 (magnetic susceptibility), 縦軸は ARM 磁化率 (ARM-susceptibility). コア名の隣の () は水深.

(a) GC703 (3710 m)



(b) GC704 (4524 m)



第10図 アムンゼン海で得られたコア (GC703, GC704) の Banerjee-King plot. 横軸は磁化率 (magnetic susceptibility), 縦軸は ARM 磁化率 (ARM-susceptibility). コア名の隣の () は水深.

at IODP Site U1361. *Earth and Planetary Science Letters*, **412**, 61–69.

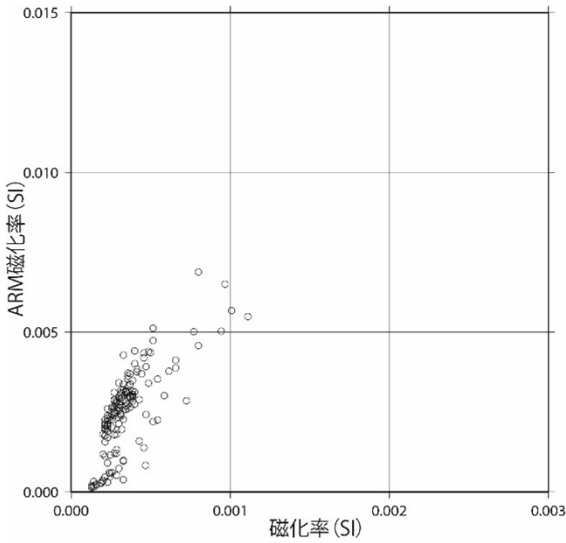
鳥居雅之 (2005) 環境磁気学—レビュー—. 地学雑誌, **114**, 284–295.

辻野 匠・山本博文・片山 肇・村上文敏・荒井晃作・野田 篤・田村 亨・菅沼悠介 (2005) 海洋地質調査法と成果: 京都府北方. 地質ニュース, no. 615, 54–59.

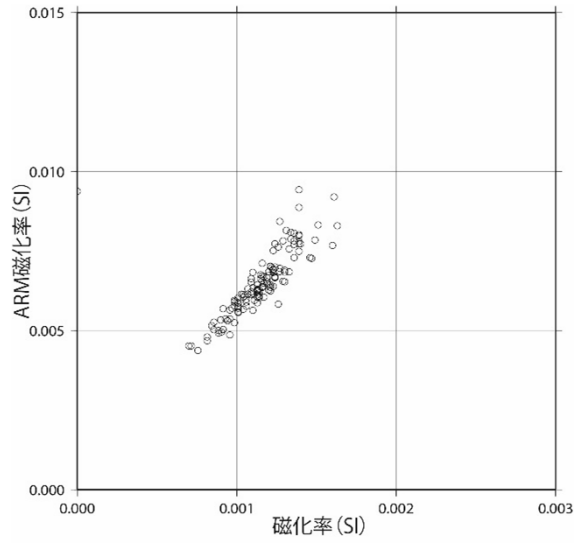
山崎俊嗣 (2000) 古地磁気・岩石磁気研究の進展—白嶺丸が採取した堆積物の重要な役割—. 地質ニュース, no. 549, 54–57.

Yamazaki, T. (2008) Magnetostatic interactions in deep-sea sediments inferred from first-order reversal curve diagrams: Implications for relative paleointensity normalization. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **9**, Q02005, doi:10.1029/2007GC001797.

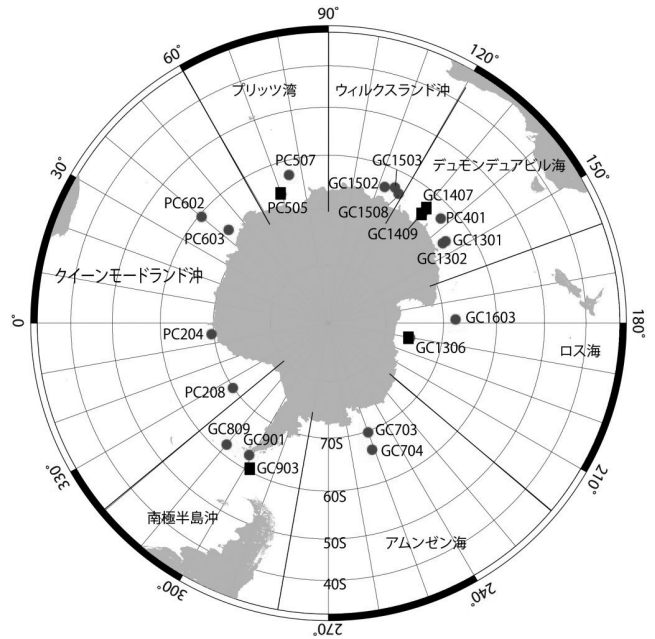
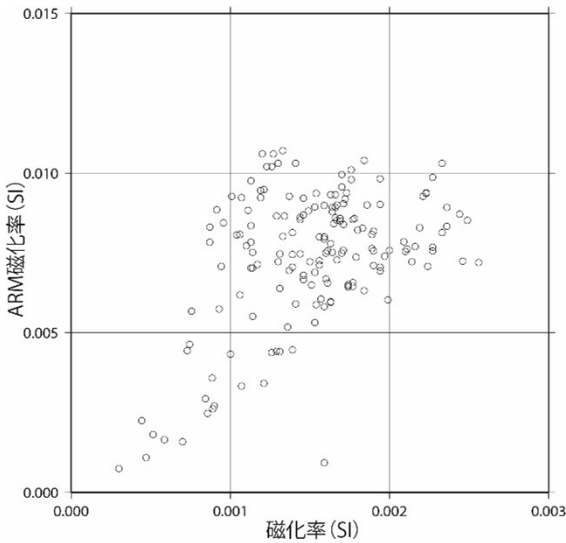
(a) GC809 (3315 m)



(b) GC901 (1455 m)



(c) GC903 (3639 m)



第 11 図 南極半島沖で得られたコア (GC809, GC901, GC903) の Banerjee-King plot.
横軸は磁化率 (magnetic susceptibility), 縦軸は ARM 磁化率 (ARM-susceptibility). コア名の隣の () は水深.

第 12 図 採取点分布図. 経度は東回りが正である. ●は粒子がとも細かいと示唆されるコア. ■は●よりは粒子が粗いと示唆されるコア. 第 1 図に加筆.

Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1998) New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, **79**, 579.

MORIJI RIE, NAKAI MUTSUMI, UENO NAOKO and OGISHIMA TOMOKO (2016) An example of magnetic measurements on marine sediment core samples taken by the Antarctic Geological and Geophysical Research Project of Japan National Oil Corporation (FY1980-1999).

(受付: 2016 年 1 月 5 日)