

「南極地域石油天然ガス基礎地質調査」(FY1980-1999)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

森尻理恵¹・中井睦美²・上野直子³・荻島智子⁴

Rie Morijiri, Mutsumi Nakai, Naoko Ueno and Tomoko Ogishima (2005) Paleomagnetic and rock-magnetic study of marine sediment core samples taken by the Antarctic Geological and Geophysical Research Project of Japan National Oil Corporation (FY1980-1999). *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 56(9/10), p.341 - 373, 28 figs, 2 tables.

Abstract: Paleomagnetic and rock magnetic studies were performed on 22 sediment core samples taken by the Antarctic Geological and Geophysical Research Project (FY1980-1999) of the Japan National Oil Corporation (JNOC). These core samples were made available since 2002 after being transferred to the Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), and their reports were released. These cores did not suffer serious magnetic damage, though they have been kept in a room temperature since 2002 after being kept refrigerated for more than 10 years. Our results of measurements of natural remanent magnetization (NRM) and magnetic susceptibility agree with the results of the JNOC reports. Some magnetic parameters, anhysteretic remanent magnetization (ARM) and saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) were also shown in our figures, which were not measured during the project. They are important environmental magnetic parameters and would be useful for the research of the Antarctic Ocean in the future.

Keywords: Antarctic Ocean, marine sediment core, paleomagnetism, rock-magnetism, JNOC

1. はじめに

南極周辺海域で得られた海底堆積物コアの自然残留磁気 (NRM), 帯磁率, 非履歴残留磁化 (ARM), 飽和等温残留磁化 (SIRM) の測定を行った。使用したコア試料は, 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「南極地域石油天然ガス基礎地質調査」(FY1980-1999)において, ほぼ南極大陸をぐるりと取り囲むように採取したものである。この「南極地域石油天然ガス基礎地質調査」プロジェクトは, 地質学的及び地球物理学的調査を, 南極条約に規定された科学調査として実施した。この研究プロジェクトを通じて多くの成果が得られた (例えば Nishimura *et al.*, 1998; Matsuoka and Funaki, 2003) が, 採取された堆積物コアなどの研究結果の大部分や資料は広く一般には公開されていなかった。2000年から2年間にわたり資料が整理され, 研究報告書等はデータベース化され CD-ROM6枚にまとめられ, 閲覧可能となっている (藤本・辻, 2002)。本研究で参照したコアの記載や過去の古地磁気測定結果などは, この報告書 CD-ROM (石油公団, 2001) に拠った。また, 堆積物コアは2002年4月に産業技術総合研究所・地質標本館 (以下産総研) の管理

に移り, 所定の手続きを経た上で利用可能となった。コア試料は, 採取後は冷蔵保存されていたが, 産総研に移管後は室温において保存されていた。今後も継続して, 常温で保存される。

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, 帯磁率は現在では測定の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)。石油公団のプロジェクトにおいて得られた古地磁気データについて, 報告書 CD を参照し航海ごとに第1表にまとめてみた。ここで数字は, ほぼコア一本分の古地磁気データが記載されているコア数である。1980年度から古地磁気データは部分的に記載されており, TH80では9本中4本, TH81では9本中1本について報告されているが, 当時はコア分析のルーチンとして実施されていたわけではなかったらしい。採取されたコアのほぼ全部について古地磁気データが公開されているのは, NRM が TH84 航海 (1984年度) から, 帯磁率は TH93 航海 (1993年度) からである。NRM の測定では, コアごとにいくつかのパイロットサンプルを選びおおむね 5 mT のステップで段階交流消磁が行われ, 最適消磁レベル

¹地質情報研究部門 (Institute of Geology and Geoinformation, GSJ)

²大東文化大学 (Daito-Bunka University, Takashimadaira, Itabashi-ku, Tokyo, 175-8571 Japan)

³東洋大学 (Toyo University, Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8606 Japan)

⁴目白学園高等学校 (Mejiro-Gakuen High School, Nakaochiai, Shinjyuku-ku, Tokyo, 161-8539 Japan)

第1表 石油公団プロジェクトで得られたコアの古地磁気データ一覧.

Table 1 List of magnetic measurements which were shown in JNOC reports.

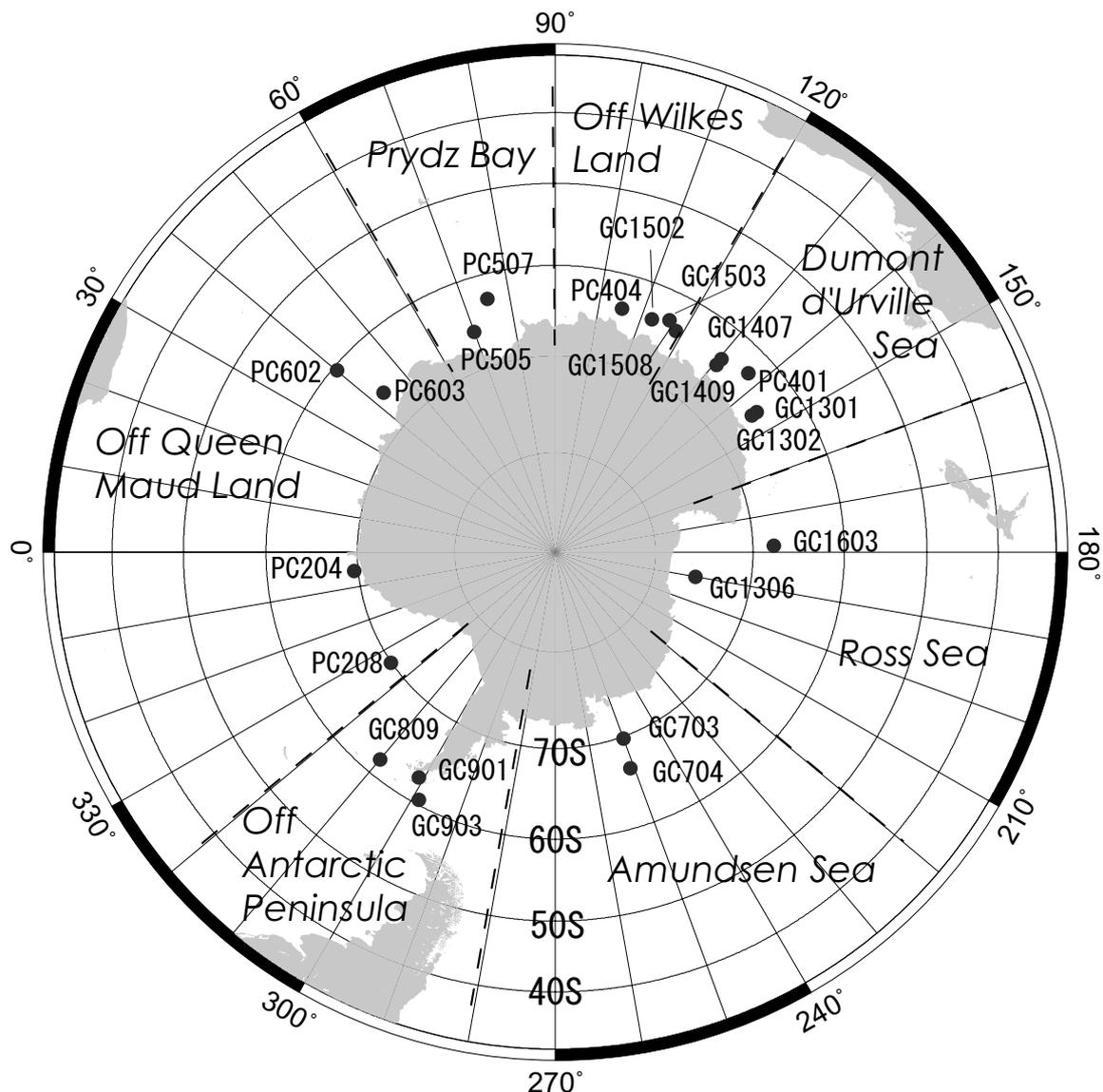
| year | cruise,core | NRM | sus. | others | area |
|------|----------------------------------|-----|------|------------|-------------------------|
| 1980 | TH80(PC101-109) | 4 | 0 | 0 | Amundsen Sea |
| 1981 | TH81(PC201-209) | 1 | 0 | 0 | off Queen Maud Land |
| 1982 | TH82(PC304-306,G301-309) | 1 | 0 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| | TH82(PC301-303) | 2 | 0 | 0 | Ross Sea |
| 1983 | TH83(G401-402,PC401-402,406-407) | 0 | 0 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| | TH83(PC403-405,G403-405) | 0 | 0 | 0 | off Wilkes Land |
| 1984 | TH84(PC502-505,507) | 5 | 0 | 0 | Prydz Bay |
| 1985 | TH85(PC601-606) | 4 | 0 | 0 | off Queen Maud Land |
| 1986 | TH86(PC701,G701-709) | 10 | 0 | 0 | Amundsen Sea |
| 1987 | TH87(GC801-809) | 9 | 0 | 0 | off Antarctic Peninsula |
| 1988 | TH88(GC901-908) | 8 | 0 | 0 | off Antarctic Peninsula |
| 1989 | TH89(GC1001-1006) | 6 | 0 | 0 | Prydz Bay |
| 1990 | TH90(GC1101-1109) | 9 | 0 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| 1991 | TH91(GC1201-1202) | 1 | 0 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| | TH91(GC1203-1208) | 5 | 0 | 0 | Ross Sea |
| 1992 | TH92(GC1301-1302) | 2 | 0 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| | TH92(GC1303-1308) | 6 | 0 | 0 | Ross Sea |
| 1993 | TH93(GC1401-1409) | 7 | 7 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| 1994 | TH94(GC1501-1509) | 9 | 9 | Hysteresis | off Wilkes Land |
| 1995 | TH95(GC1601-1602) | 1 | 1 | 0 | Dumont d'Urville Sea |
| | TH95(GC1603-1606) | 4 | 4 | 0 | Ross Sea |
| 1996 | TH96(GC1701-1710) | 9 | 9 | AMS | off Antarctic Peninsula |
| 1997 | TH97(GC1801-1806) | 5 | 5 | AMS | off Antarctic Peninsula |
| 1998 | TH98(GC1901-1903,1907) | 4 | 4 | AMS | off Wilkes Land |
| | TH98(GC1904-1906) | 3 | 3 | AMS | Prydz Bay |
| 1999 | TH99(GC2001-2009) | 0 | 0 | 0 | Prydz Bay |

(optimum demagnetization field, ODF)が推定されている。測定結果としてコアごとに、深さに対する消磁前並びにODFでの消磁結果のグラフ(コアによってはどちらかのみ)が記載されている。しかし、報告書には段階交流消磁結果は代表的なパイロットサンプルのものしか記載されていない。

そこで筆者らは、最終的には南極海における堆積物コアの古地磁気学的手法を用いた対比を目標として、これらのコアのうち、なるべく保存状態が良く、ほぼぐると南極大陸を取り囲む配置になるようにコアを

選び、ピストンコア8本、グラビティーコア14本を選択した。測定は、7 cm³プラスチックキューブを用いて分析用試料を採取して行った。しかし使用したコアの中には、航海中並びに終了後、さまざまな目的のためのサンプリングが既に行われていて、セクションによってはこれ以上の分析用試料採取が難しいものもあった。

本報告では、今回使用した22本のコアについて、NRMや帯磁率の再測定のみならず、コア採取当時測定されなかったARM, SIRMの測定を行い、基礎データ



第1図 採取点分布図.

Fig. 1 Location map of sampling sites.

として公開することにした。

最終的な目標である南極周辺海域のコアの対比を行うためには、熱磁化分析や粒度分析など、更に詳しい磁性鉱物の検討が必要であるが、それらは現在進行中である。コアの対比や環境磁気学的な議論はまた別の機会に行う予定である。

2. 古磁気測定

今回測定を行った22本のコアについて、第1図に海域区分とコアの採取地点を示し、第2表にコアの採取地点の情報を示した。そのうち、産総研に2002年4月から常温で所蔵されていた分はグラビティーコア13本、ピストンコア2本で、これらはAと記されている。

残りのグラビティーコア1本、ピストンコア6本については7 cm³ キューブでコアから分析用試料の採取作業を行う数日前まで冷蔵されており、Bと記されている。採取したキューブの試料はAとBの合計4,442個になった。採取した分析用試料は測定まで家庭用冷蔵庫に保管されていた。なお、コアの名称は報告書に従った。PCはピストンコア、GCまたはGはグラビティーコアに対応している。

グラビティーコアラーやピストンコアラーによって採取された海底堆積物は、まず船上で、インナーチューブが取り出される。そして、報告書を見ると担当者によって番号の付け方に違いがあるようだが、おおむね、インナーチューブのトップから順に1, 2, 3, 4, 5, …, cc (コアキャッチャー) と1 mごとのセ

第2表 コアの採取点情報(石油公団報告書より抜粋).
 地域名 QML: クイーンモードランド沖, DUS: デュモンデュアビル海, WL: ウィルクスランド沖, PB: プリッツ湾, AS: アムンゼン海, AP: 南極半島沖, RS: ロス海.
 備考 A: 1年以上室温に戻されていたコア B: 試料成型の数日前まで冷蔵されていたコア.

Table 2 Location of coring sites.
 Area Code; QML: off Queen Maud Land, DUS: Dumont d'Urville Sea, WL: off Wilkes Land, PB: Prydz Bay, AS: Amundsen Sea, AP: off Antarctic Peninsula, RS: Ross Sea.
 Remarks; A: sampled from cores stored in a room temperature for one year, B: sampled from cores being kept refrigerated.

| Cruise | Core | area | Location(deg) | Water Depth(m) | Section | Remarks |
|--------|--------|------|-------------------|----------------|-----------------|---------|
| TH81 | PC204 | QML | 05.343W, 69.570S | 1844 | 1,2,3,4 | B |
| TH81 | PC208 | QML | 34.215W, 69.906S | 4360 | 1,2,3,4,5,6,7 | B |
| TH83 | PC401 | DUS | 137.018E, 62.831S | 3816 | 2,3,4,5,6,7,8 | A |
| TH83 | PC404 | WL | 105.153E, 63.936S | 3536 | 1,2,3,4,5,6,7,8 | A |
| TH84 | PC505 | PB | 69.876E, 65.863S | 2481 | 1,2,3,4,5,6,7 | B |
| TH84 | PC507 | PB | 75.123E, 62.817S | 3805 | 1,2,3,4,5,6,7,8 | B |
| TH85 | PC602 | QML | 40.008E, 60.442S | 4639 | 2,3,4,5,6,7,8 | B |
| TH85 | PC603 | QML | 43.080E, 66.001S | 3157 | 1,2,3,4,5,6,7,8 | B |
| TH86 | GC703 | AS | 109.979W, 69.765S | 3710 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH86 | GC704 | AS | 109.027W, 66.536S | 4524 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH87 | GC809 | AP | 49.986W, 61.851S | 3315 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH88 | GC901 | AP | 58.994W, 62.744S | 1455 | 1,2,3,4 | A |
| TH88 | GC903 | AP | 61.3089W, 60.534S | 3639 | 1,2,3,4 | B |
| TH92 | GC1301 | DUS | 145.017E, 64.829S | 3341 | 2,4,5 | A |
| TH92 | GC1302 | DUS | 144.992E, 65.485S | 2537 | 3,5 | A |
| TH92 | GC1306 | RS | 169.993W, 75.770S | 1450 | 2,3,4,5 | A |
| TH93 | GC1407 | DUS | 130.518E, 63.749S | 3687 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH93 | GC1409 | DUS | 130.498E, 64.583S | 1318 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH94 | GC1502 | WL | 112.340E, 63.990S | 2656 | 1,2,3 | A |
| TH94 | GC1503 | WL | 115.995E, 63.292S | 3368 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH94 | GC1508 | WL | 118.438E, 63.999S | 3232 | 1,2,3,4,5 | A |
| TH95 | GC1603 | RS | 178.283E, 67.821S | 3326 | 2,3,4,5 | A |

クションに切断され、更に半割にされる。半割のコアには上方をさす矢印がチューブにマークされ、この1 mごとに切断された状態で保存される。また船上では軟X線撮影用のセクションなどさまざまな研究用途に応じてサンプリングが行われる。そして、全体の堆積構造を乱さないように、既にサンプリングされた痕には発泡スチロールの小片が詰められている。

堆積物の採取は、このような状態で保存されているコアの半割面から、容積7 cm³のプラスチックキューブを利用して、なるべく連続的に行った。また、1 mに切

られたコアのセクションごとに上端から個々のキューブの中心までの長さを測定した。今回示されるグラフの横軸は深さを示す。報告書ではその0 cmの場所は海底面とみなされている場合が多いようであるが、個々のキューブの深さは、柱状試料記載の図を参考に、コアのセクションの上端の深度を推定し、そこからキューブまでの長さを加えたものである。具体的には、セクションのトップからp cmのところにあるキューブの深さは、石油公団の報告書に記されている、切断された各セクションの上端が相当する深さの値 (q cm)

を読み取り、 $(p + q)$ cmとした。ただし、古地磁気データの変化パターンを報告書と測定値で比較すると、明らかに深度データがずれていると思われるものもあった。セクションの中には保存や移動の過程で堆積物の先端が乱れたものもあり、正しく深度データを復元できていないものもあるので注意が必要である。

コアのセクションの大多数は密閉状態が良好で、堆積物は予想以上に湿潤であった。プラスチックキューブで採取された後、キューブに詰められた状態で堆積物は冷蔵庫で保管されている。ただし、採取作業は産総研で行い、測定作業は京都大学並びに同志社大学と高知大学で行った。

測定作業は、大きく2回に分けて行った。1回目の測定には、第2表のAのコアを用いた。この作業は以下の手順で行われた。

1. NRM (Natural Remanent Magnetization, 自然残留磁化): 測定には、同志社大学の超電導磁力計 (2G Enterprises 755R) を使用した。この段階で消磁は行っていない。
2. 初期帯磁率測定: 測定は、帯磁率計 (Bartington MS-2) を使用して、同志社大学と京都大学で行った。低周波 (0.47 kHz) と高周波 (4.7 kHz) の2モードで測定した。初期帯磁率として低周波モードでの測定値を採用した。
3. 帯磁率異方性測定: 京都大学と高知大学で Kappabridge KLY-3S を使用して測定した。結果報告は別の機会に譲る。
4. NRM と ARM 測定: 高知大学で、超電導磁力計 (2G760) を使用して 20 mT, 35 mT, 80 mT の3段階の交流消磁, 更に 60 μ T の直流磁場と 20 mT, 35 mT, 80 mT の交流磁場で ARM (Anhysteretic Remanent Magnetization, 非履歴性残留磁化) を獲得させ、磁化の測定を行った。
5. SIRM と BIRM 測定: 高知大学と京都大学にて 1 T で SIRM (Saturation Isothermal Remanent Magnetization, 飽和等温残留磁化) をパルスマグネタイザーを用いて着磁し、磁化強度をスピナー磁力計で測定し、更に SIRM と反対方向に 0.1 T と 0.3 T で BIRM (Back-field Isothermal Remanent Magnetization, 逆等温残留磁化) を着磁し、それぞれ測定を行った。

2回目の測定には、第2表のBのコアを用いた。1回目の測定結果を見て、帯磁率異方性の測定前後で NRM は変化しないことがわかったので、手順1は省略した。また1回目の測定では ARM 獲得を3段階 (20 mT, 35 mT, 80 mT) 行っていたが、2回目では 80 mT のみとした。あとはおおむね同様の測定を行った。

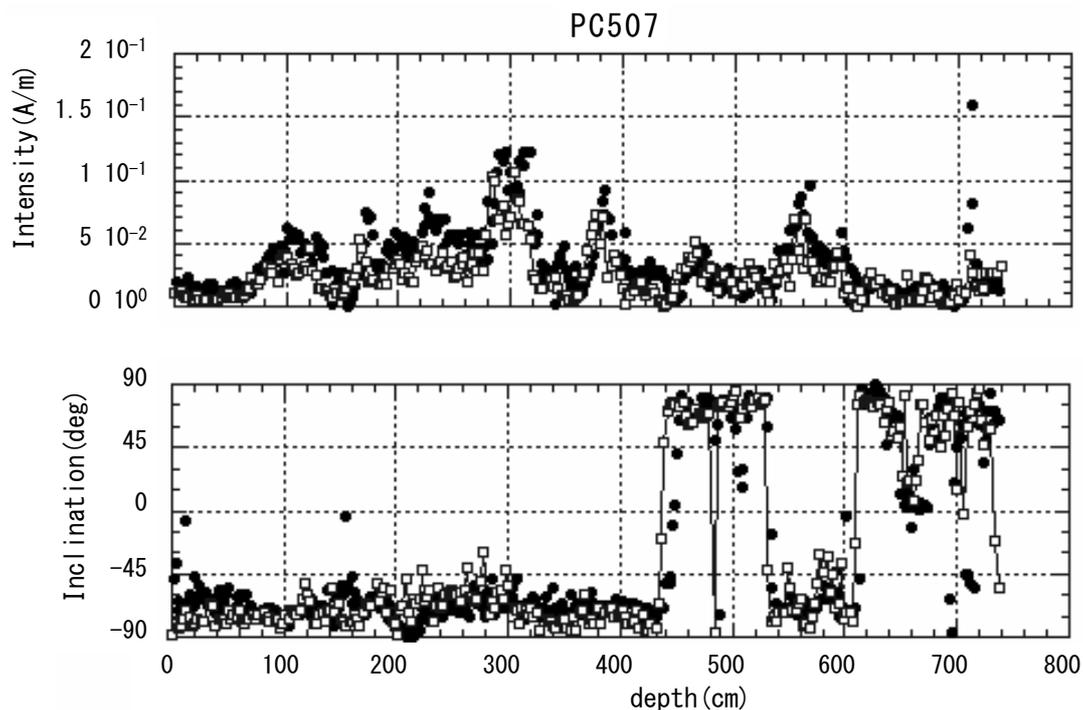
3. 測定結果

長期保存されたコアが磁気試料として有効かどうかの検討は、多くの研究例がある (例えば Otofujii *et al.*, 1982; Yamazaki *et al.*, 2000 など)。今回の報告では単純に、NRM と帯磁率の深さに対する変化と石油公団の報告書に記載されているデータとの比較により、長期間保存のコアの研究への使用の有効性の検討を行った。

具体例として、第2図から第6図に PC507 (ブリッツ湾), GC704 (アムンゼン海), GC1409 (デュモンデュアビル海), GC1503 (ウィルクスランド沖) 並びに GC1603 (ロス海) の結果を示した。第2図と第3図では NRM 強度と伏角について石油公団のデータ (●) と今回測定したデータ (□) を比較した。第2図は PC507 について、消磁前の石油公団のデータと今回の 35 mT で消磁後のデータ、第3図は GC704 について、12 mT で消磁後の石油公団のデータと今回の 20 mT で消磁後のデータの比較を行った。第4図から第6図までは NRM 強度、伏角、帯磁率について石油公団のデータ (●) と今回測定したデータ (□) の比較を行った。NRM の比較では、第4図は GC1409 について、30 mT で消磁後の石油公団のデータと今回の 35 mT で消磁後のデータの比較を行った。第5図は GC1503 について 25 mT で消磁後の石油公団のデータと今回の 35 mT で消磁後のデータ、そして第6図は GC1603 について 30 mT で消磁後の石油公団のデータと今回の 35 mT で消磁後のデータ、となっている。

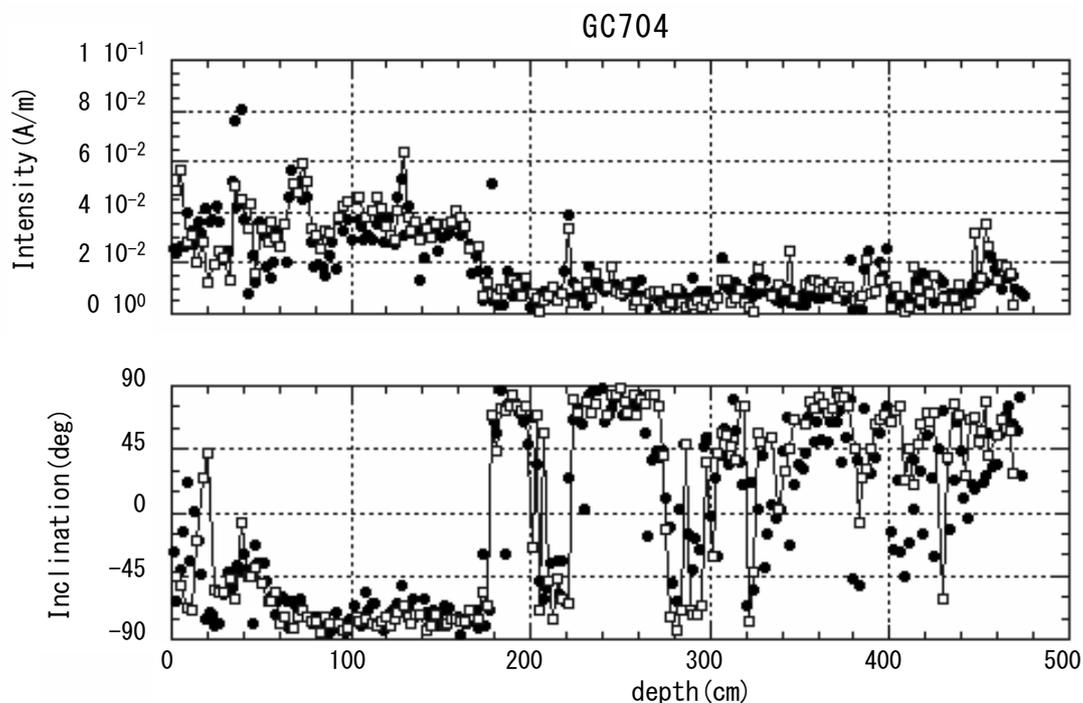
南極海のような還元環境にある堆積物では空気中に置かれることにより強磁性鉱物が失われることがあり、その場合残留磁化は不安定になるが古地磁気方位はそれなりに保存され、新たな磁性鉱物が生成される事は一般には起きないと考えられている。今回も全てではないが、報告書に記載されている古地磁気データと今回測定されたデータはほぼ調和的な結果になったことから、これらのコアの使用には、おおむね問題がないと考えた。ただし、それにはいくつかの要因があった。一番大きなものは、コアがもともと強い比較的安定な磁化を持っていたので、空気中に置かれることによる磁性鉱物の変化が起こっても、ある程度安定した磁化を保つことができたと考えられる。残念ながら石油公団のデータ (帯磁率はデータテーブルから、NRM は報告書の深度に対する図から読み取ったもの) と今回測定したデータでは、サンプリング深度や交流消磁の磁場強度が一致していないために比較結果の詳しい考察は行うことができない。

今回測定を行った 22 本のコアについて、初期帯磁率、NRM 強度、伏角、ARM 帯磁率と SIRM、ARM/SIRM、S 比、の7項目のプロファイルを示した (第7



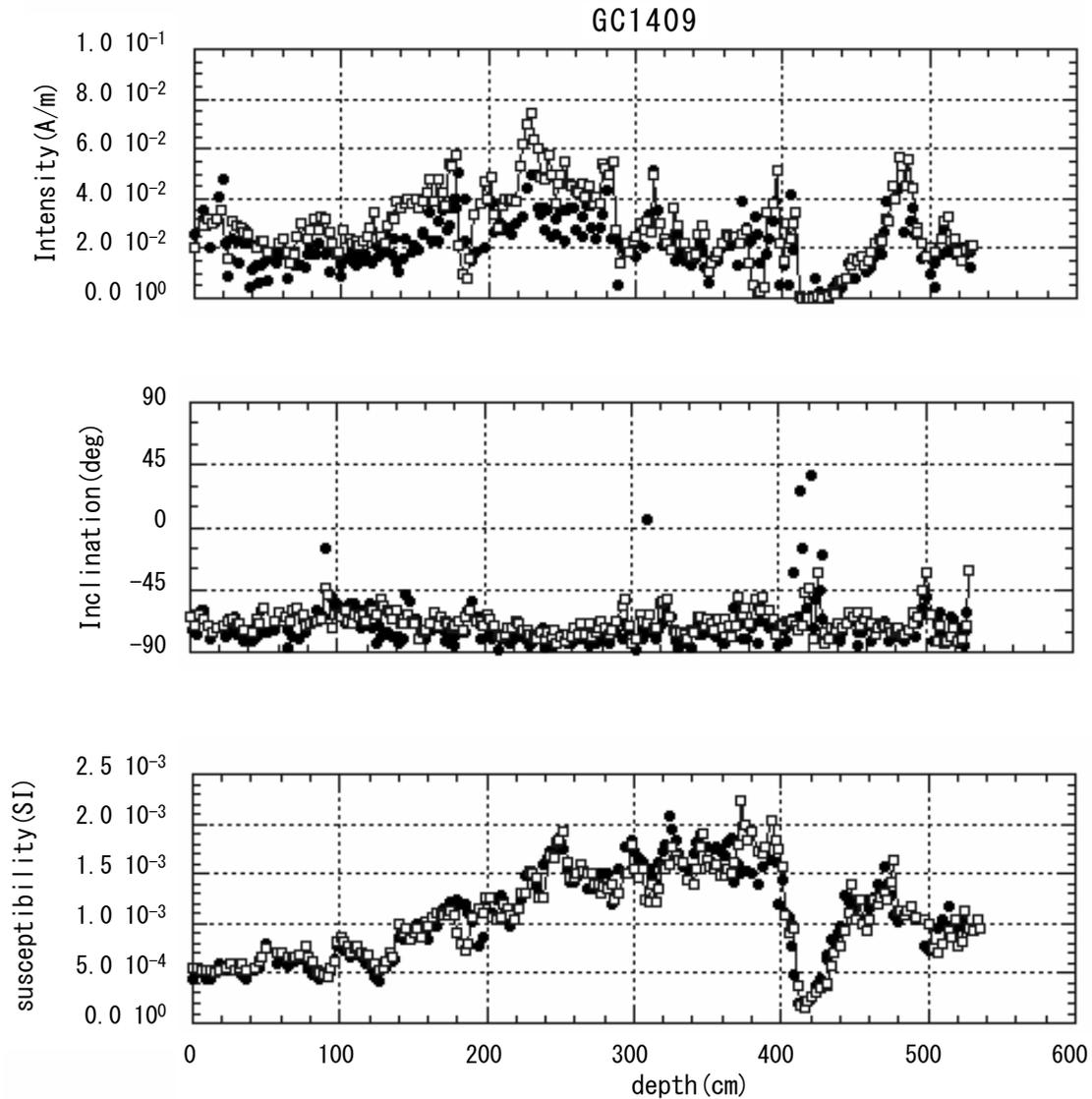
第2図 PC507：石油公団の報告書データと今回測定したデータの比較。上から NRM 強度（消磁前の石油公団の NRM 強度 (●) と今回 35 mT で消磁後 (□)），NRM 伏角（消磁前の石油公団の NRM 強度 (●) と今回 35 mT で消磁後 (□)）。

Fig. 2 PC507: Comparison of NRM between JNOC report (solid circles) and this study (open squares). The data of JNOC were not demagnetized, and the data of this study were demagnetized by alternating field at 35 mT. Upper: NRM intensity, lower: NRM inclination.



第3図 GC704：石油公団の報告書データと今回測定したデータの比較。上から NRM 強度（12 mT で消磁後の石油公団の NRM 強度 (●) と今回 20 mT で消磁後 (□)），NRM 伏角（12 mT で消磁後の石油公団の NRM 強度 (●) と今回 20 mT で消磁後 (□)）。

Fig. 3 GC704: Comparison of NRM between JNOC report (solid circles) and this study (open squares). The data of JNOC were demagnetized by alternating field at 12 mT, and the data of this study were demagnetized by alternating field at 20 mT. Upper: NRM intensity, lower: NRM inclination.



第4図 GC1409：石油公団の報告書データと今回測定したデータの比較。上から NRM 強度（30 mT で消磁後の石油公団の NRM 強度（●）と今回 35 mT で消磁後（□））、NRM 伏角（30 mT で消磁後の石油公団の NRM 強度（●）と今回 35 mT で消磁後（□））、帯磁率（石油公団報告書（●）、今回の測定（□））。

Fig. 4 GC1409: Comparison of NRM between JNOC report (solid circles) and this study (open squares). The NRM data of JNOC were demagnetized by alternating field at 30 mT, and the NRM data of this study were demagnetized by alternating field at 35 mT. Upper: NRM intensity, middle: NRM inclination, lower: susceptibility

図 - 第 23 図)。また、コアの番号順ではなく、海域ごとにまとめてある。同じ海域内ではおおむね番号順である。このうち NRM は高知大学で測定したもののみ、ARM は 80 mT の交流磁場中で獲得したもののみを示した。いずれも横軸は前に述べた深さである。

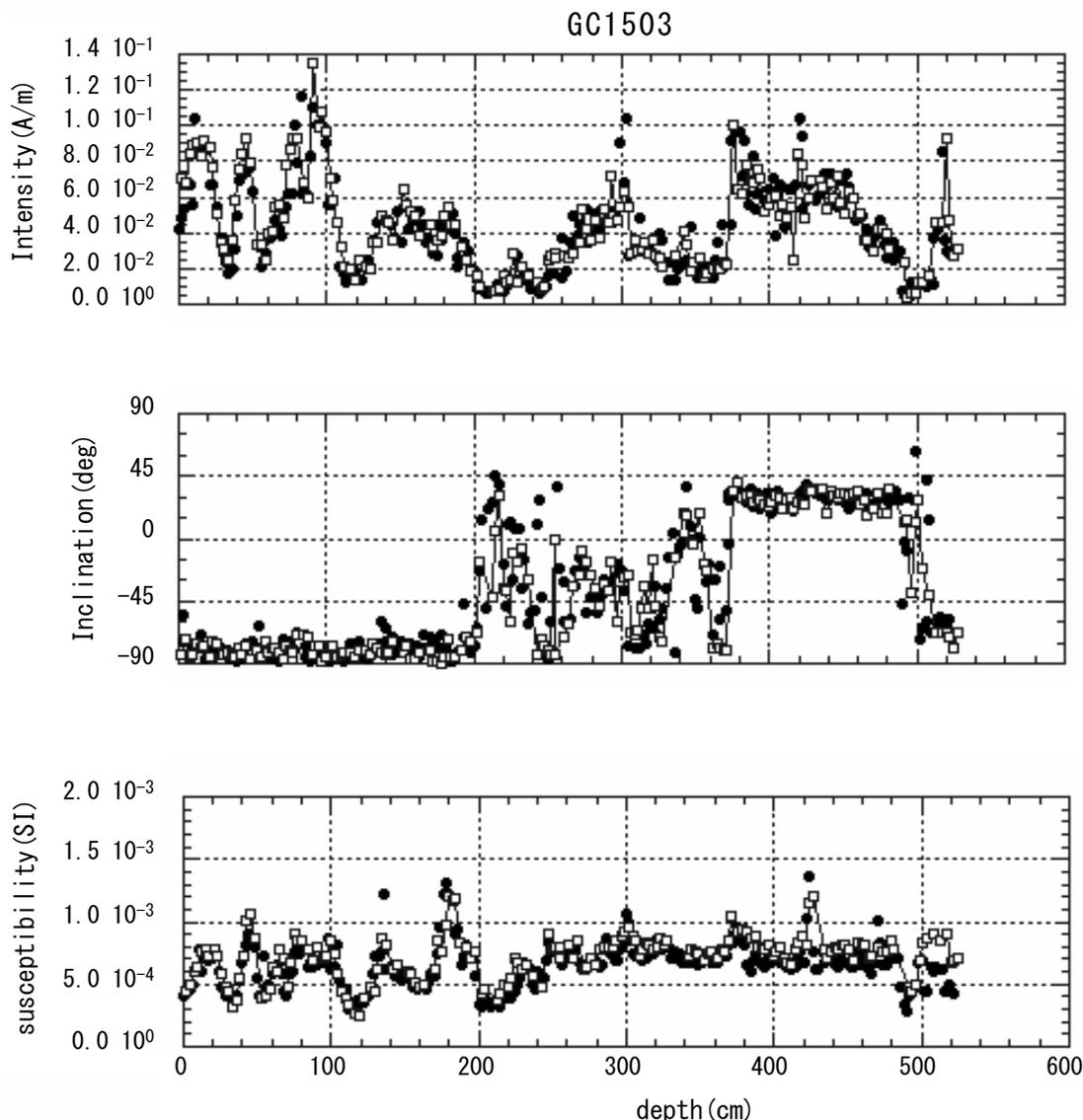
ここで 7 項目の磁気パラメーターに付いて簡単に説明する。おおむね小玉 (1999)、Evans and Heller (2003) 並びに鳥居 (2005) に拠った。

3.1. 帯磁率

帯磁率は外部磁場をかけた時の磁化のしやすさを表

した値である。ここでは体積を基準にしているので単位はディメンジョン無の SI を用いている。キューブの体積は 7 cm^3 、高さを 19 mm とし、堆積物がキューブにきっかりと詰まらなかったものについては $V = 7 \text{ cm}^3 \times (19 \text{ mm} - \text{足りない長さ}) / 19 \text{ mm}$ という補正を行った。

帯磁率の大きさは、含まれる鉱物の持つ帯磁率の強さと量比で決まる。一般にマグネタイトなどの強磁性鉱物が多く含まれているものは帯磁率が高い。また、ここでは 0.47 kHz の低周波モードで測定した値を初期帯磁率として採用している。



第5図 GC1503：石油公団の報告書データと今回測定したデータの比較。上からNRM強度（25 mTで消磁後の石油公団のNRM強度（●）と今回35 mTで消磁後（□））、NRM伏角（25 mTで消磁後の石油公団のNRM強度（●）と今回35 mTで消磁後（□））、帯磁率（石油公団報告書（●）、今回の測定（□））。

Fig. 5 GC1503: Comparison of NRM between JNOC report (solid circles) and this study (open squares). The NRM data of JNOC were demagnetized by alternating field at 25 mT, and the NRM data of this study were demagnetized by alternating field at 35 mT. Upper: NRM intensity, middle: NRM inclination, lower: susceptibility.

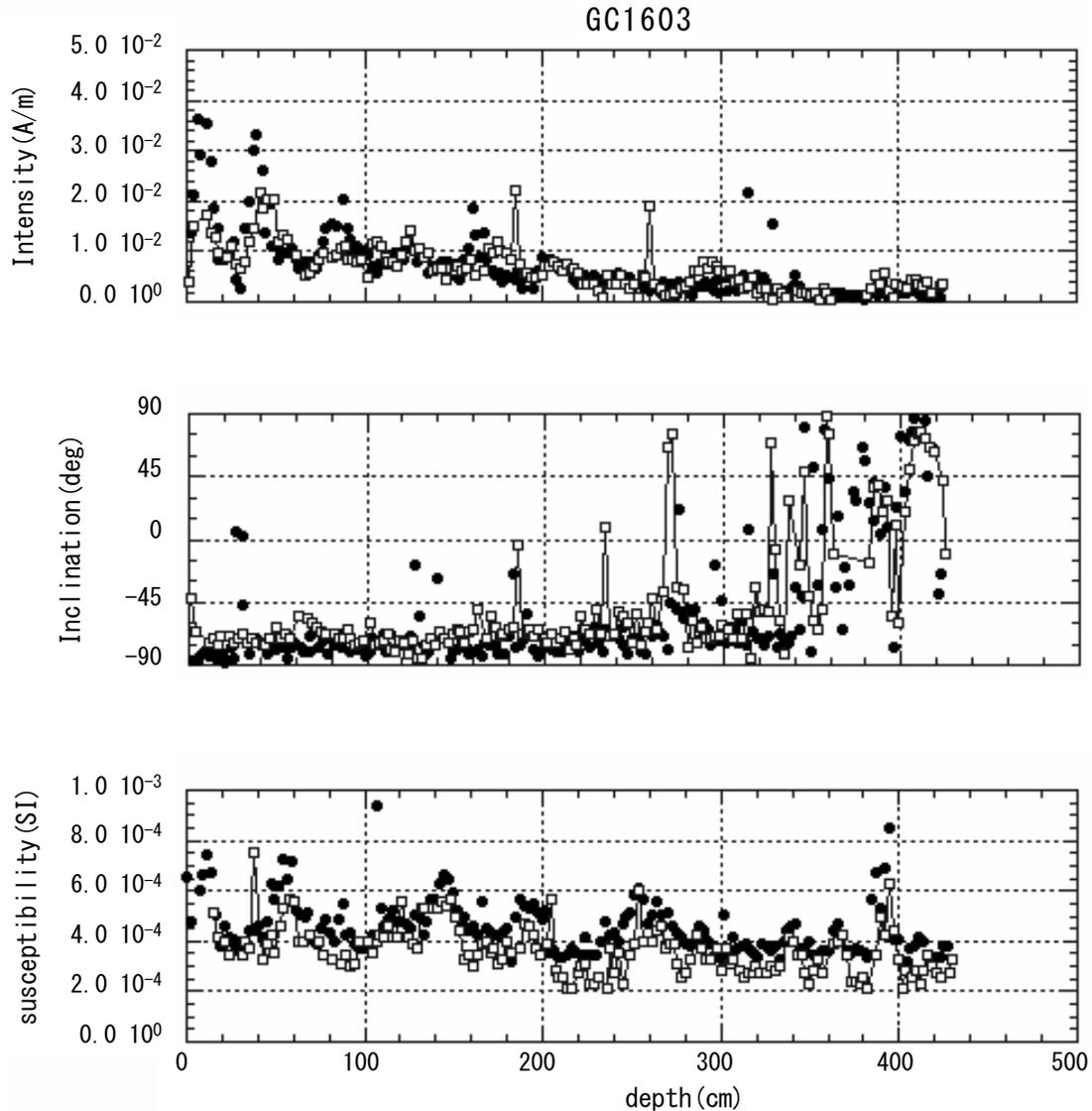
3. 2. NRM

自然残留磁化（NRM）は、堆積物が自然の中で獲得した自発磁化で、マグネタイトなどの強磁性鉱物が担っている。通常、堆積時またはその直後に獲得する初生磁化とその後に獲得する二次磁化のベクトル和になっている。また、一般に二次磁化の方が消磁されやすい性質をもつことが多いので、段階的に消磁を行って分離を行おうとする。20 mT、35 mT、80 mTの3段階の交流消磁を行ったが、ここでは消磁なし（●）と35 mTで消磁した（□）プロファイルのみを示す。偏

角データは、コアがチューブの中でねじれている可能性があるため測定は行ったがここでは示していない。

3. 3. ARMとSIRM

非履歴性残留磁化（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いう。ARMの大きさは直流磁場が地球磁場程度の場合、その磁化強度は直流磁場に比例する。ただし実際には同一直流磁場でも交流磁場が大きいほどARM強度は強くなる。これは交流磁場が大きいほど



第6図 GC1603: 石油公団の報告書データと今回測定したデータの比較. 上から NRM 強度 (30 mT で消磁後の石油公団の NRM 強度 (●) と今回 35 mT で消磁後 (□)), NRM 伏角 (30 mT で消磁後の石油公団の NRM 強度 (●) と今回 35 mT で消磁後 (□)), 帯磁率 (石油公団報告書 (●), 今回の測定 (□)).

Fig. 6 GC1603: Comparison of NRM between JNOC report (solid circles) and this study (open squares). The NRM data of JNOC were demagnetized by alternating field at 30 mT, and the NRM data of this study were demagnetized by alternating field at 35 mT. Upper: NRM intensity, middle: NRM inclination, lower: susceptibility.

それだけ広い範囲の保磁力を持つ磁性粒子が ARM に寄与するからである。つまり、交流磁場と ARM 強度の関係は磁性粒子の保磁力分布によって決まる。したがって一定直流磁場の元で交流磁場を増加させれば ARM も増加するが、あるところで飽和するので、今回は交流磁場を 80 mT としてなるべく強い ARM を獲得させた。

またここでは、ARM 強度を直流磁場の値で割って ARM 帯磁率に変換したものを示した (●)。これは帯磁率と同様に強磁性鉱物の量や粒径を反映するが、特

に ARM の獲得効率が単磁区領域では帯磁率よりも高いことを利用して、帯磁率と ARM 帯磁率の比から磁性鉱物の粒径を推定することもできる (King *et al.*, 1982; Banerjee *et al.*, 1981)。

等温残留磁化 (IRM) はサンプルが、常温で強い人工的な磁場にさらされて、獲得される磁化である。飽和等温残留磁化 (SIRM) は、高磁場をかけて飽和させた等温残留磁化 (IRM) をいう。ここではパルスマグネタイザーを使って ARM と直交する方向に着磁させた。SIRM の値 (□) は、磁化の残りやすさを示してい

ると考えてよい。IRMはARMに比べて粒径依存性が小さい。

3.4. S比

S比はヘマタイトのような高保磁力の磁性鉱物とマグネタイトのような低保磁力の磁性鉱物の含有比を反映するパラメーターである。ヘマタイトはマグネタイトに比べて1桁以上も保磁力が大きい。はじめに1Tという強い磁場をかけてSIRMを獲得させ、次に逆向きに0.1Tの磁場をかける。更にその次に0.3Tの磁場をかける。ここではBloemendal *et al.* (1992)に従って、S比の計算は、0.1T(□)、0.3T(●)ともに、 $[(\text{-IRM/SIRM})+1]/2$ を採用した。値が1に近いほど、試料中に残留保磁力が低い強磁性鉱物(マグネタイトなど)の相対的な含有量が多いことを示す。0.1Tで飽和するのは、マグネタイトやマグヘマイトで、0.3Tまでに大部分が飽和する。0.3Tでも飽和しないのは、ヘマタイトやゲーサイトというのが大体の目安になる。

3.5. ARM/SIRM

ARMとSIRMの比はマグネタイトの粒子サイズの推定に広く使われている。ARMは単磁区(SD)、なかでも単磁区-超常磁性(SD-SP)境界付近の粒径で獲得効率のピークがある。それに対して、SIRMはあまり粒子サイズに依存しない。そのため、ARM/SIRMが大きいほうが粒子サイズは小さくなり、特に単磁区-擬単磁区(SD-PSD)粒子が多く含まれている堆積物かどうかの判定に用いられる。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、マグネタイトの含有量(体積比)が少ない場合もARM/SIRMが大きくなる(Sugiura, 1979; Yamazaki and Ioka, 1997)ので解釈には注意が必要である。

4. おわりに

本研究の大きな目的は、堆積物の磁気特性を用いて南極海周辺のコアの対比を試みることにある。しかし、その研究結果を示す前に、今回使用した22本のコアに

ついて、再測定をしたNRMや帯磁率のみならず、コア採取当時測定されなかったARM、SIRMの測定結果も合わせて、基礎データとして公開することにした。

また、当然の事ながら、コアがきちんとシールされていて、乾燥がさほど進んでいなかったことも大きい。さまざまな用途でサンプリングした後は、コアが乱れないように発泡スチロール片をきっちり詰めておく、というのが基本的なルールである。そうしていても長年の間には、堆積物の位置がずれるのはやむをえないところがある。そのため、サンプルの深度については正確な復元は既に困難になっているので、岩相記載やその他のデータと対比を行う場合には、ずれを生じる恐れがあるが、報告書のプロフィールと比較した限りではせいぜい数cmの範囲に収まっていると考えてよいだろう。どうしても報告書のプロフィールとパターンが合わない場合は、コアが乱れたものと仮定して、プロフィールを見ながらキューブの位置データを報告書に合うように手作業で調整した。しかしながら、手作業の調整程度で復元できたのは、コア使用のルールが比較的きちんと守られていたことが大きい。コアが後年使用可能か否かの分かれ目というのは、使用者のマナーにかかっていると改めて認識された。

謝辞: 本研究を行うに当たり、コアの使用については産総研・地質情報研究部門の西村 昭氏、産総研・地質標本館の松江千佐世氏、並びに極地研究所の三浦英樹氏にお世話になりました。また測定については、京都大学の石川尚人助教授、同志社大学の林田 明教授、高知大学海洋コアセンターの小玉一人教授、海洋研究開発機構の久光敏夫氏にお世話になりました。更に西村 昭氏、並びに査読者である産総研・地質情報研究部門の山崎俊嗣氏にはいろいろ御教示いただきました。謝意を表します。最後に、本研究は文部科学省科学研究費補助金(課題番号15540442)の助成を受けました。また、一部は高知大学海洋コア総合研究センター共同利用研究(04B006)として実施しました。コア採取点分布の図はフリーソフトGMT(Wessel and Smith, 1998)を用いて作成しました。

→

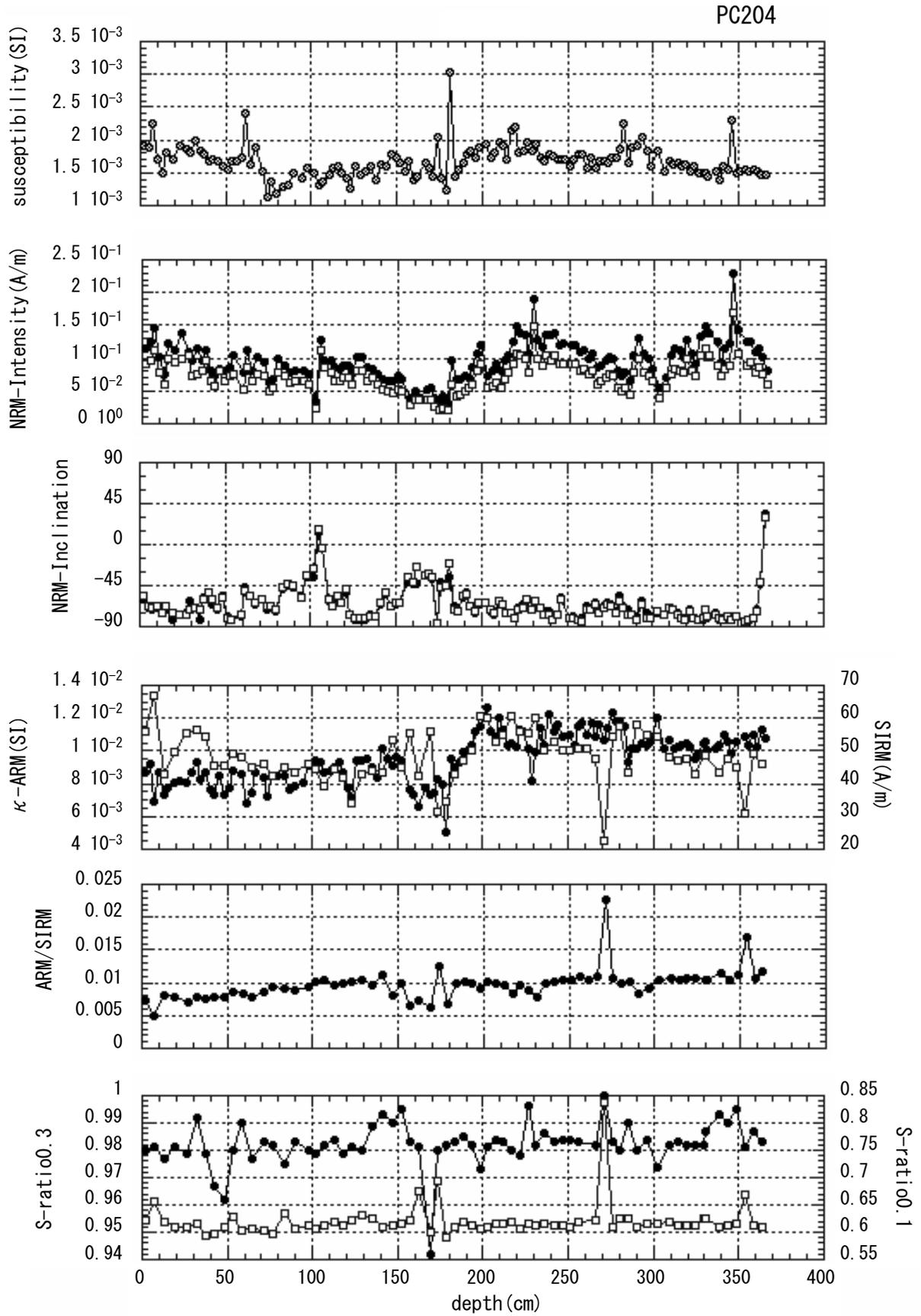
第7図-第28図

それぞれのコアについて上から(1)初期帯磁率、(2)消磁なし(●)と35 mTで交流消磁を行った残留磁化強度(□)、(3)消磁なし(●)と35 mTで交流消磁を行った残留磁化伏角(□)、(4)ARM帯磁率(●)とSIRM(□)、(5)ARM/SIRM(●)、(6) S比、S_{0.1T}(□)とS_{0.3T}(●)。PC404はARMを測定しなかった。

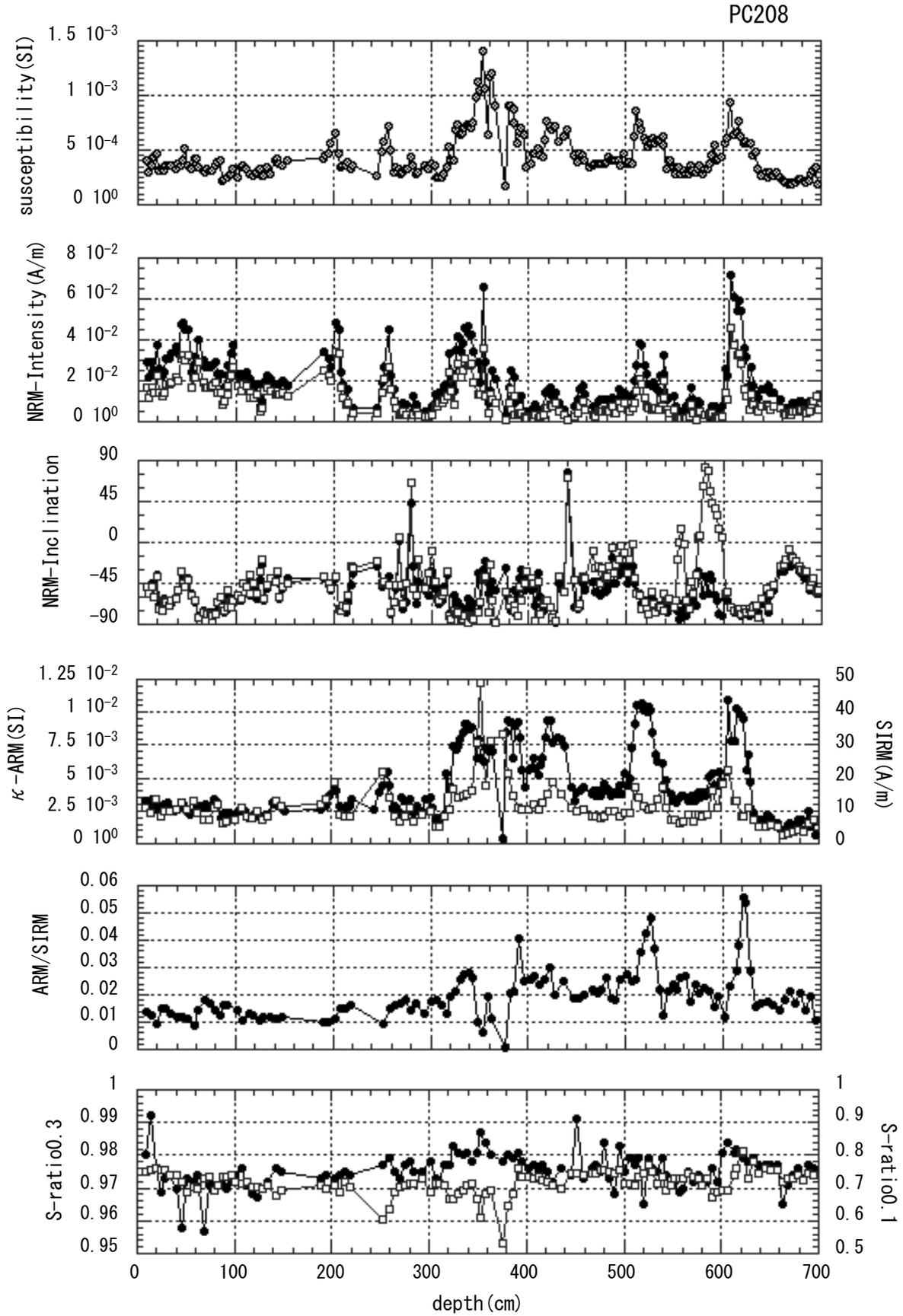
From the top panel,

(1)Initial susceptibility(○), (2) Intensity of NRM before(●) and after AF demagnetization at 35mT(□), (3) Inclination of NRM before(●) and after AF demagnetization at 35mT(□), (4) ARM-susceptibility(●) and SIRM(□), (5) ARM/SIRM(●), and (6) S-ratios, S_{0.1T}(□) and S_{0.3T}(●)

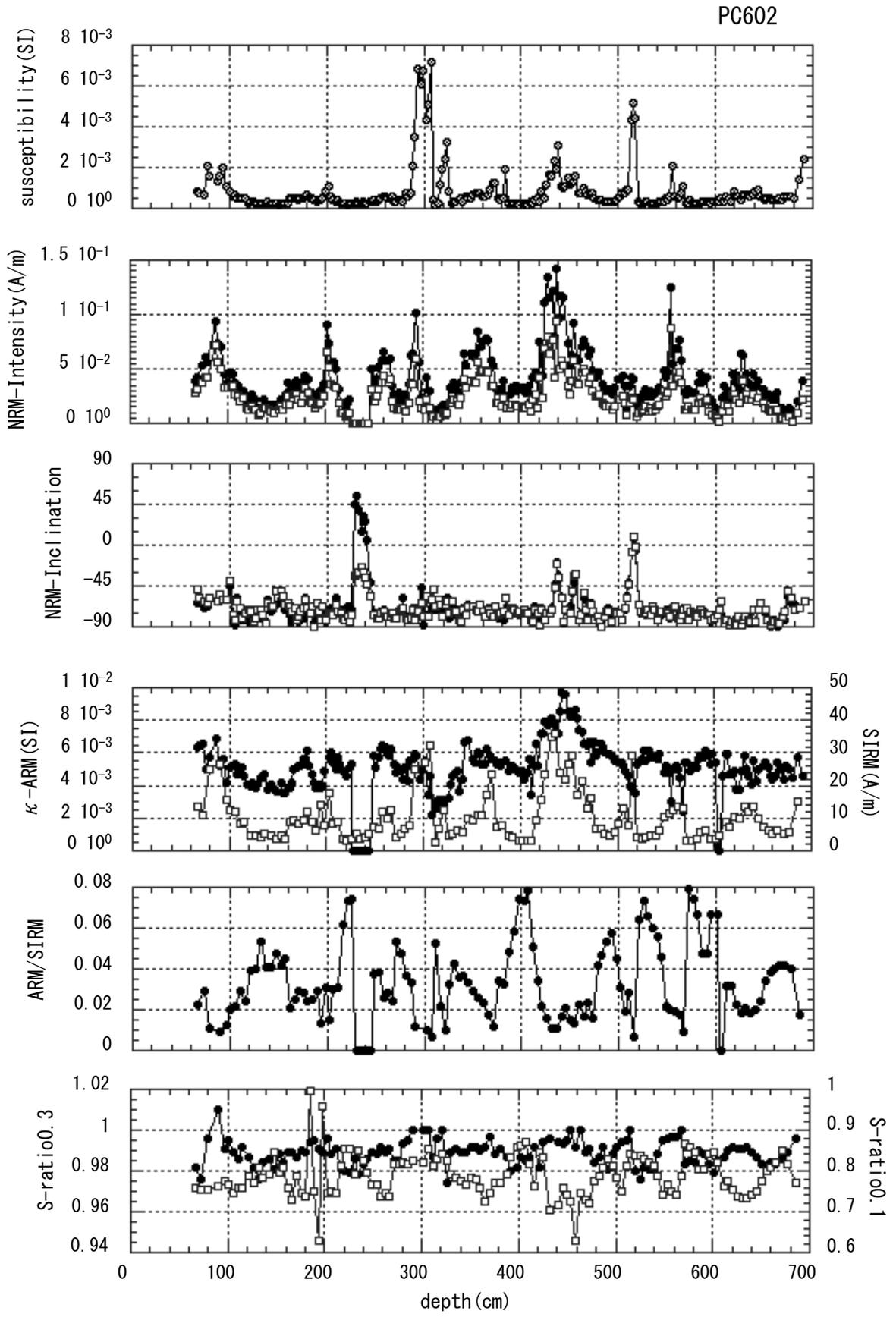
ARM of PC404 was not measured.



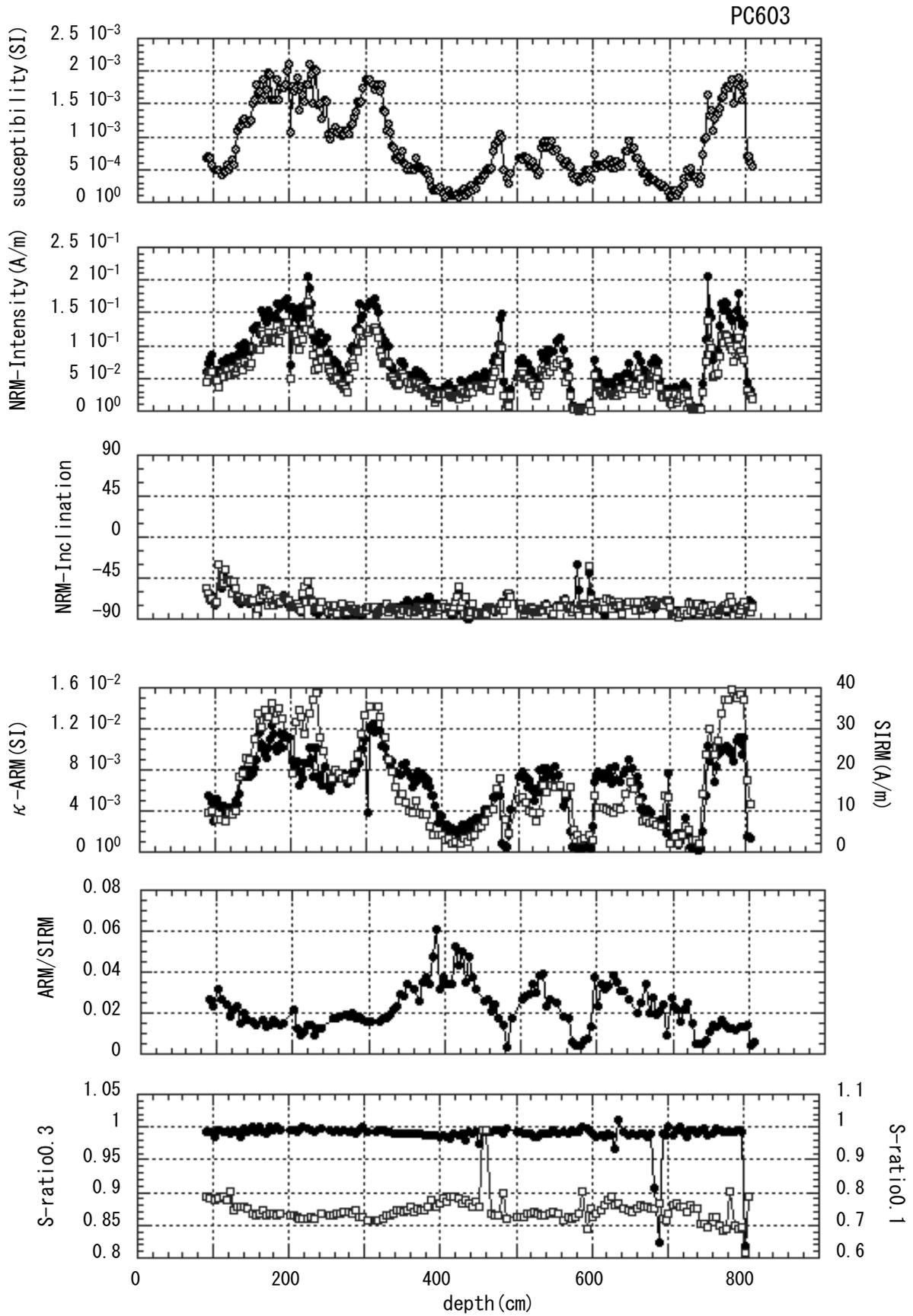
第7図 PC204 クイーンモードランド沖.
Fig. 7 PC204, off Queen Maud Land area.



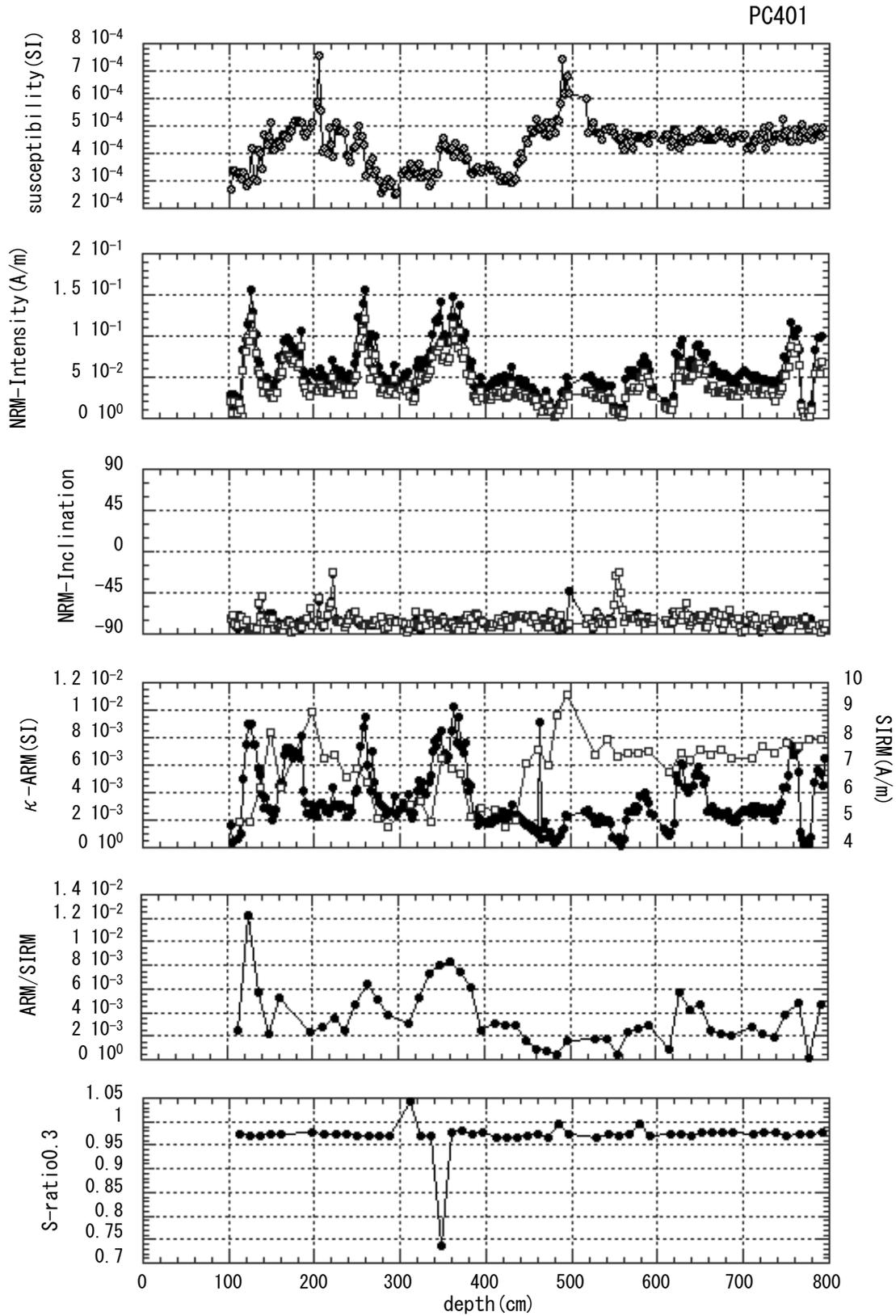
第8図 PC208 クイーンモードランド沖.
 Fig. 8 PC208, off Queen Maud Land area.



第9図 PC602 クイーンモードランド沖.
Fig. 9 PC602, off Queen Maud Land area.



第10図 PC603クイーンモードランド沖.
Fig. 10 PC603, off Queen Maud Land area.

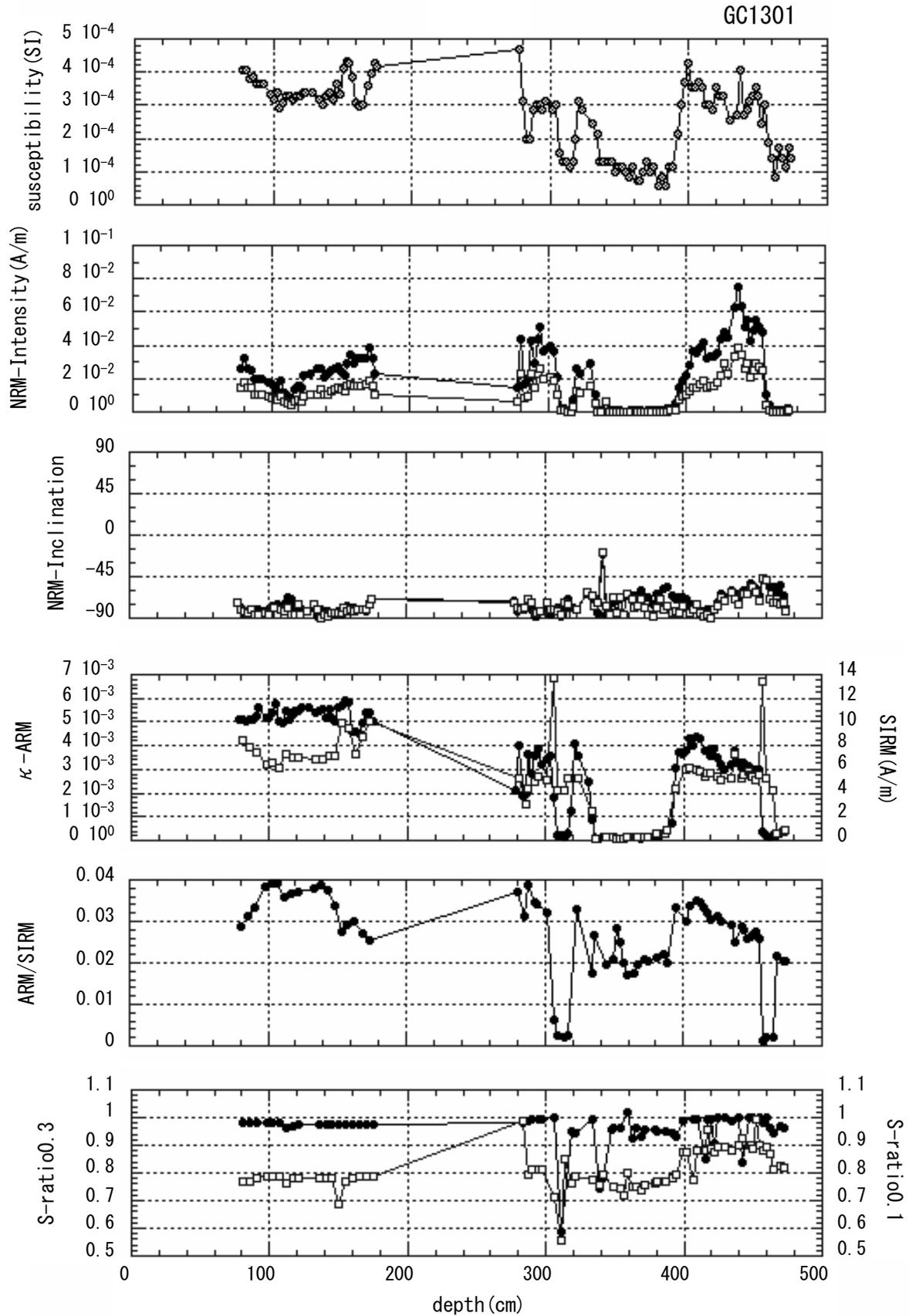


第11図 PC401 デュモンデュアビル海。

ただし帯磁率は Bartington MS-2 ではなく Kappabridge KLY-3S で測定された。SIRM はほかのコアが 1 個おき (約 5 ~ 6 cm 間隔) であるのに対して 5 個おき (約 12 ~ 15 cm 間隔) に測定され、BIRM は 0.3 T のみ着磁されている。

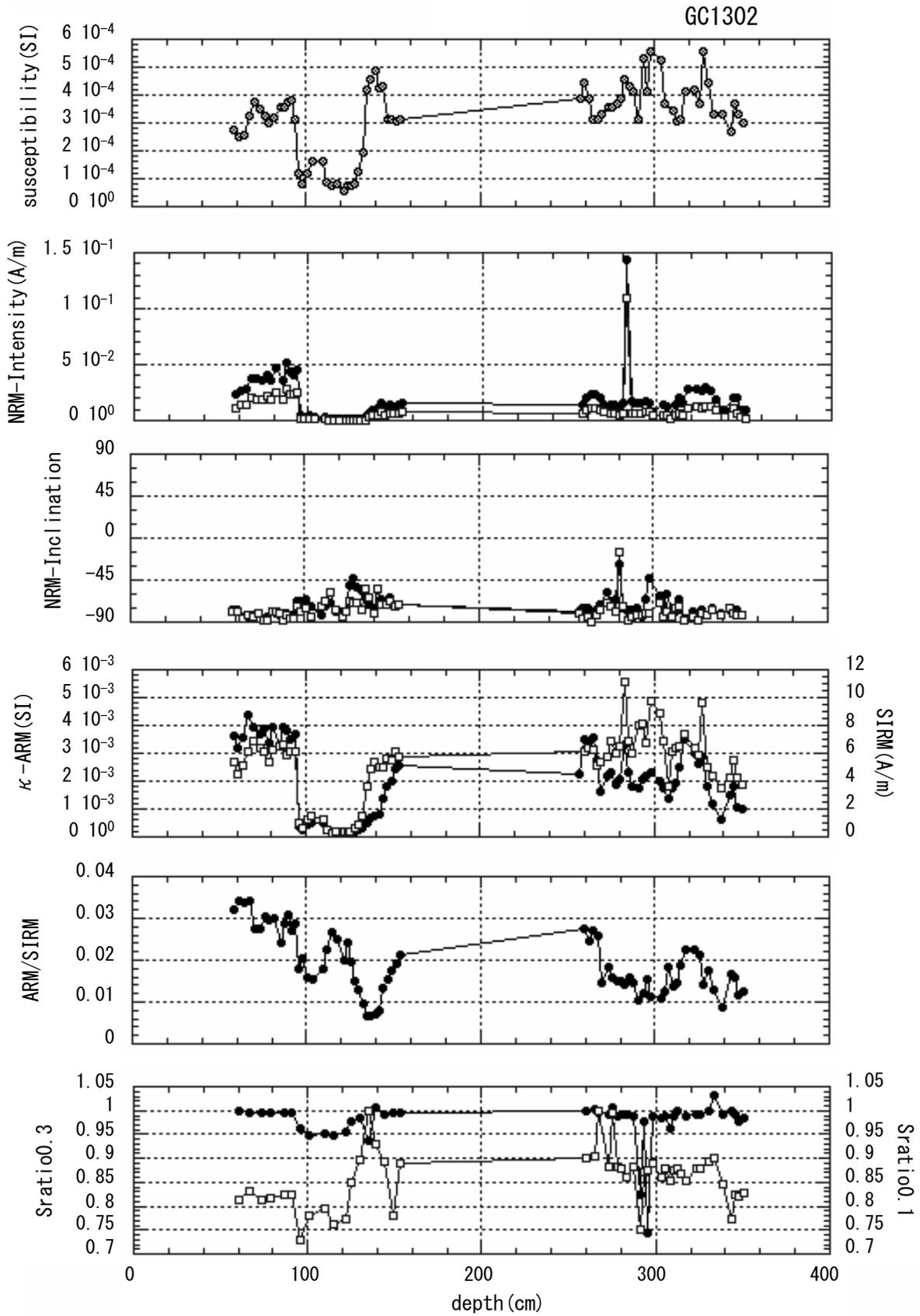
Fig. 11 PC401, Dumont d'Urville Sea area.

Susceptibility was measured using Kappabridge KLY-3S instead of Bartington MS-2. For S-ratios, S-0.3 T was shown. SIRM was measured every six samples.



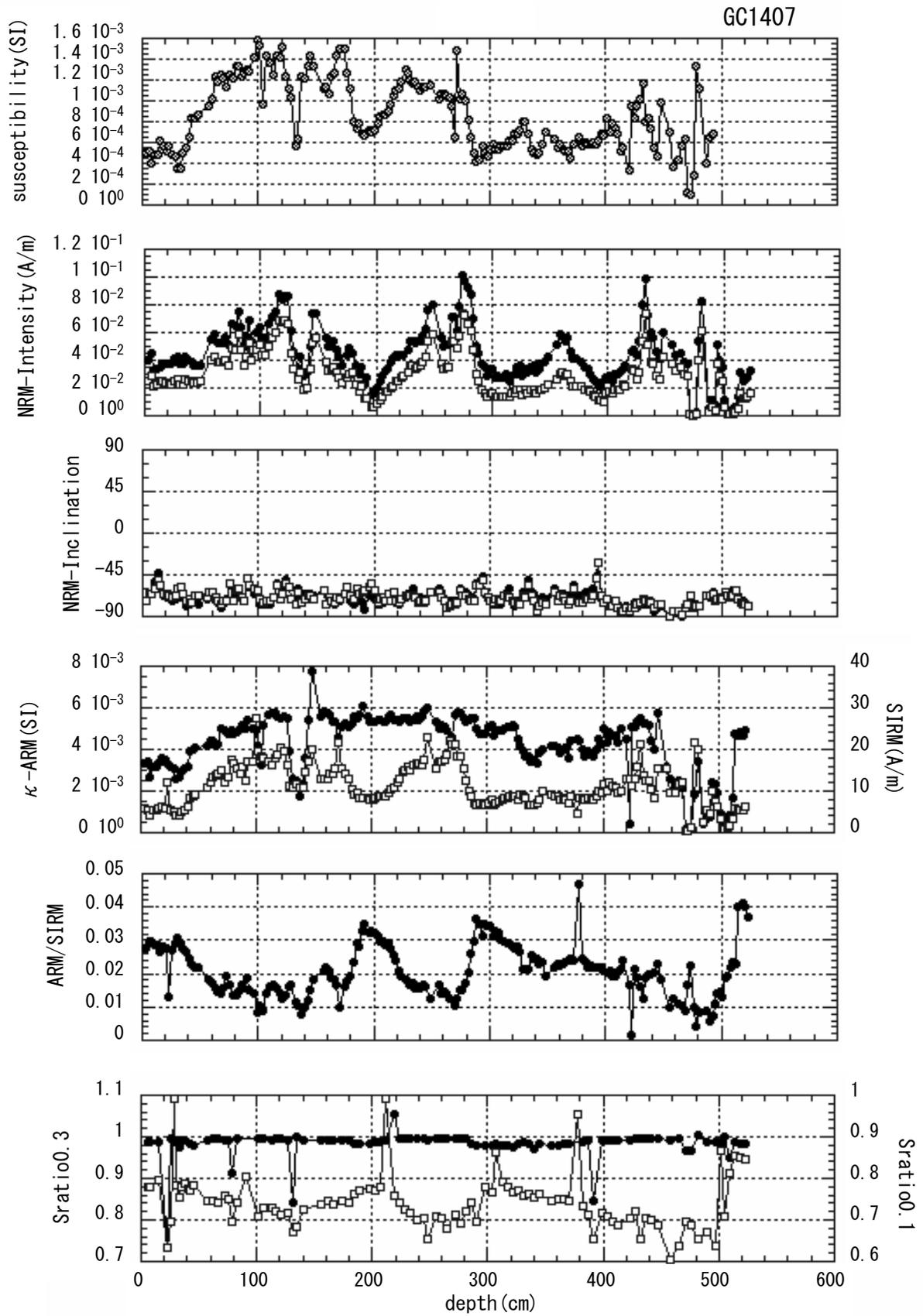
第12図 GC1301 デュモンデュアビル海.

Fig. 12 GC1301, Dumont d'Urville Sea area.

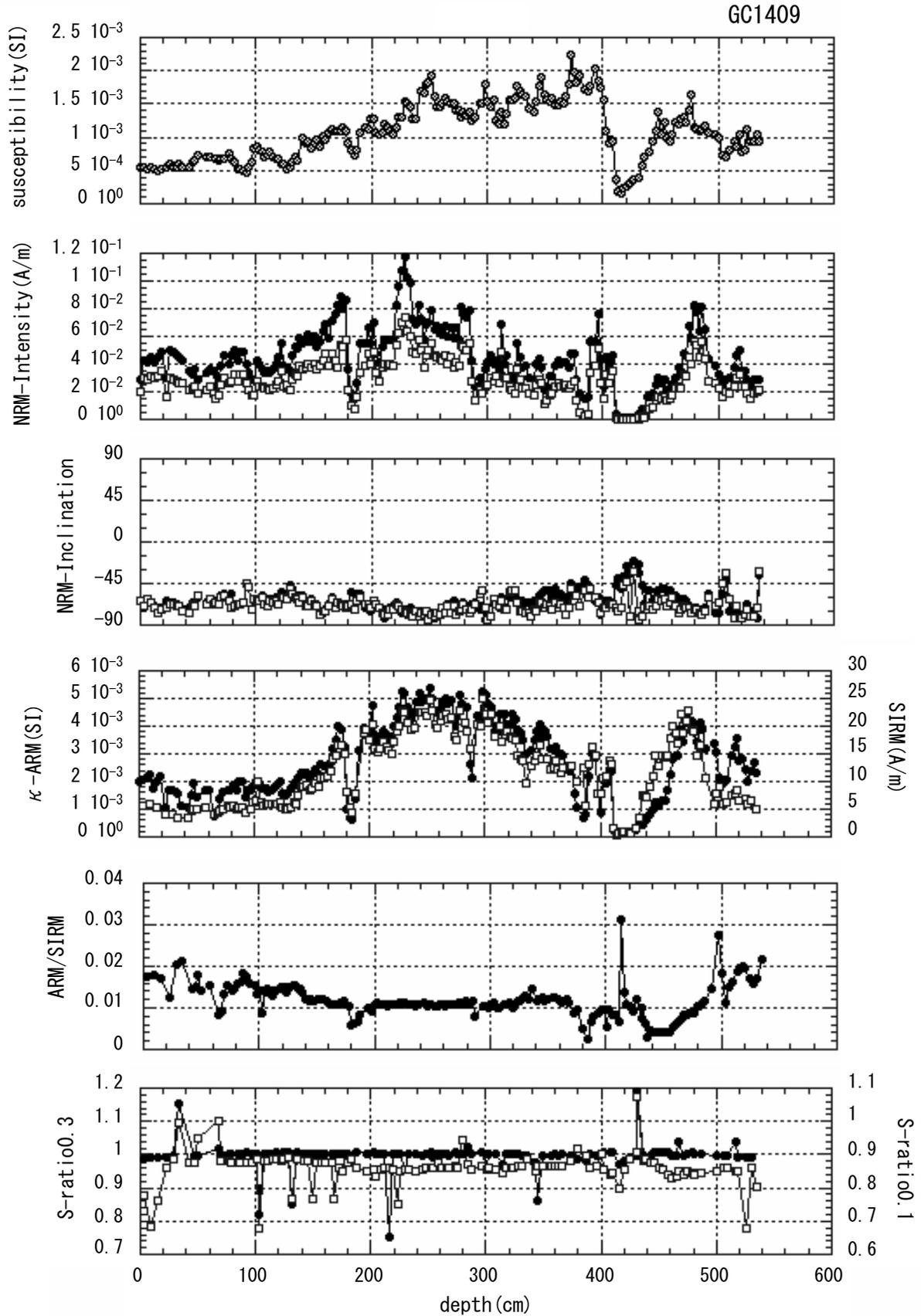


第 13 図 GC1302 デュモンデュアビル海.

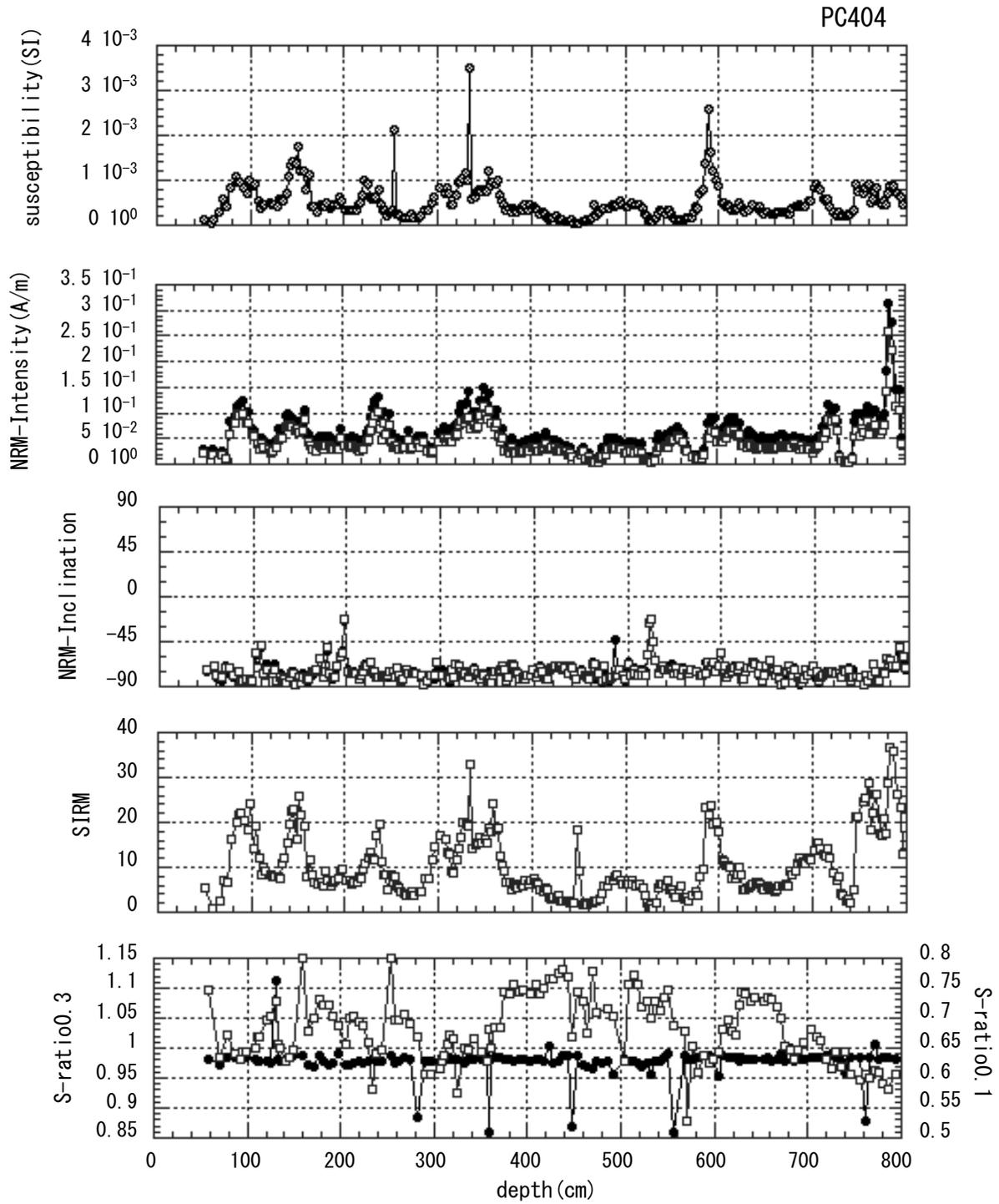
Fig. 13 GC1302, Dumont d'Urville Sea area.



第14図 GC1407デュモンデュアビル海.
 Fig. 14 GC1407, Dumont d'Urville Sea area.

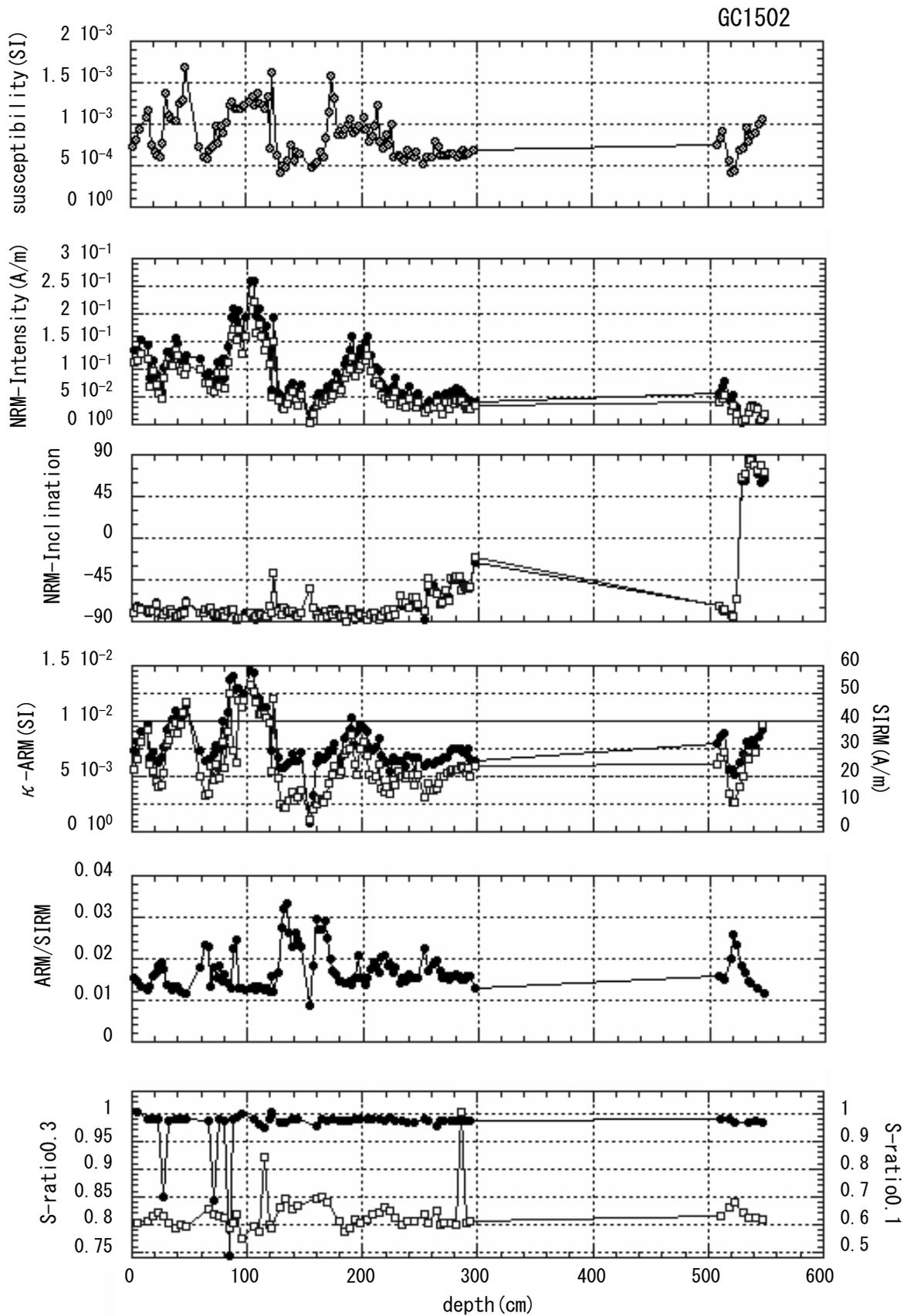


第15図 GC1409 デュモンデュアビル海.
Fig. 15 GC1409, Dumont d'Urville Sea area.



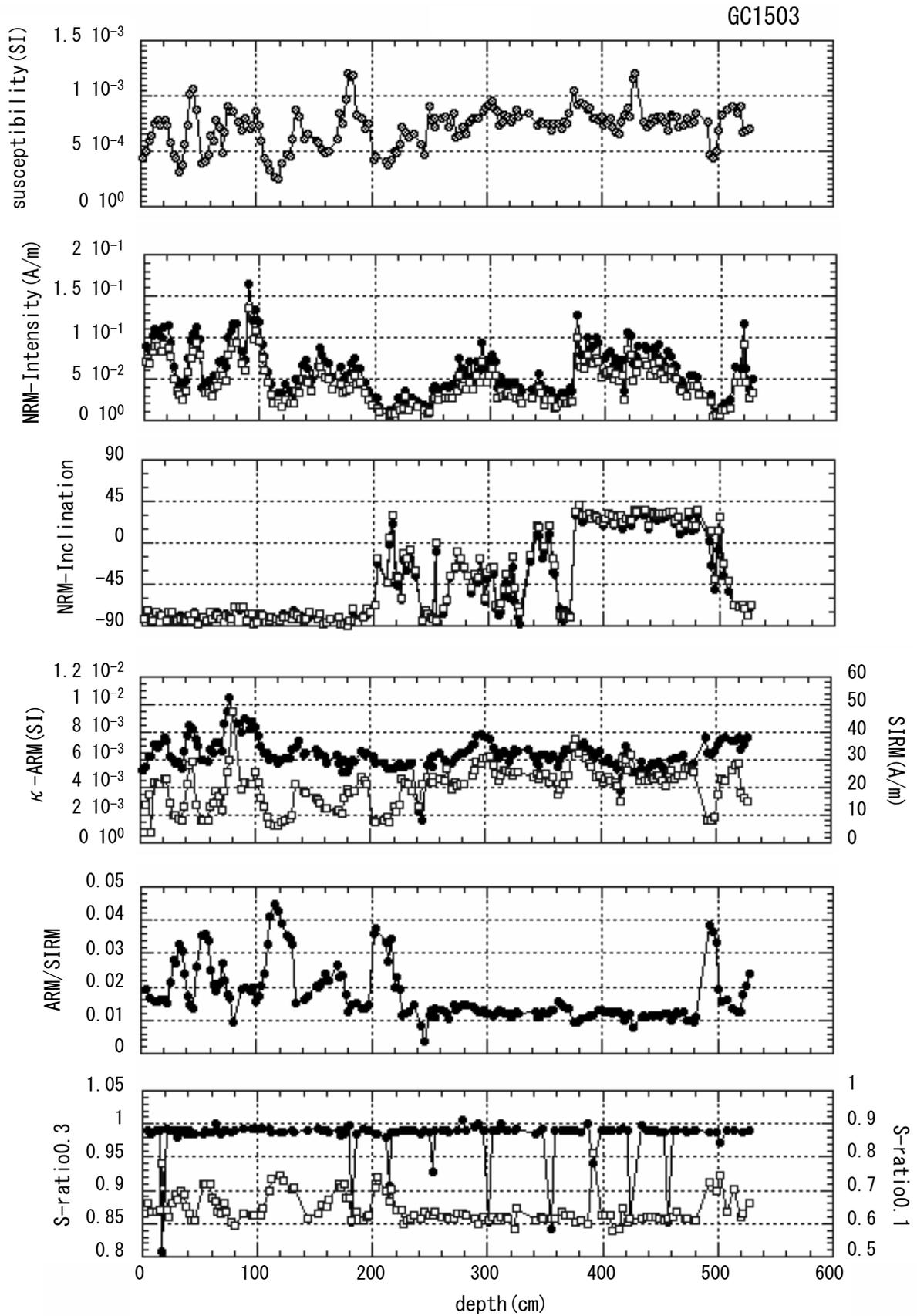
第16図 PC404 ウィルクスランド沖。
ただし帯磁率は Bartington MS-2 ではなく Kappabridge KLY-3S で測定されたもの。ARM の獲得実験はなし。

Fig. 16 PC404, off Wilkes Land area.
Susceptibility was measured using Kappabridge KLY-3S instead of Bartington MS-2. ARM was not measured.



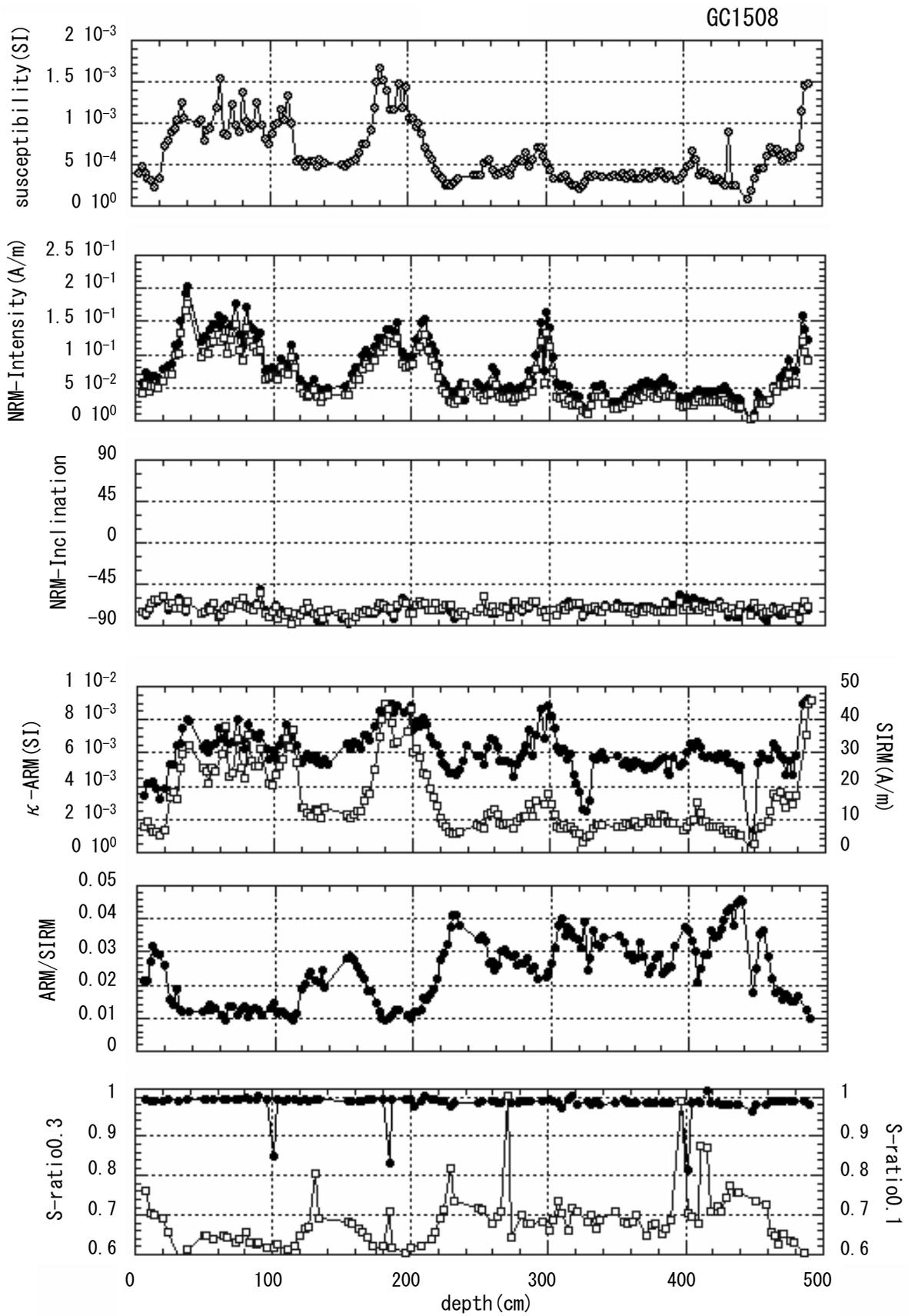
第17図 GC1502 ウィルクスランド沖.

Fig. 17 GC1502, off Wilkes Land area.



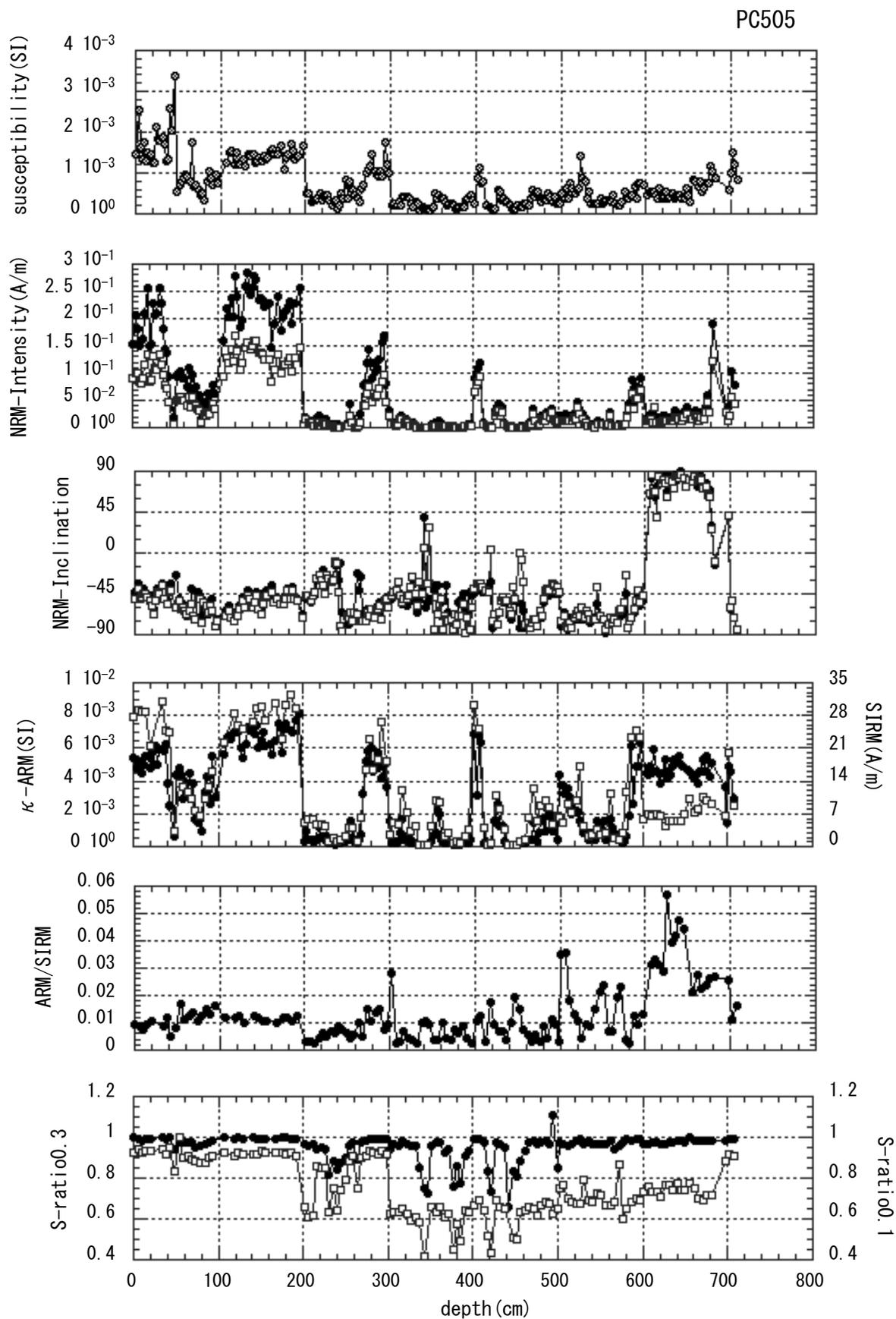
第18図 GC1503 ウィルクスランド沖.

Fig. 18 GC1503, off Wilkes Land area.

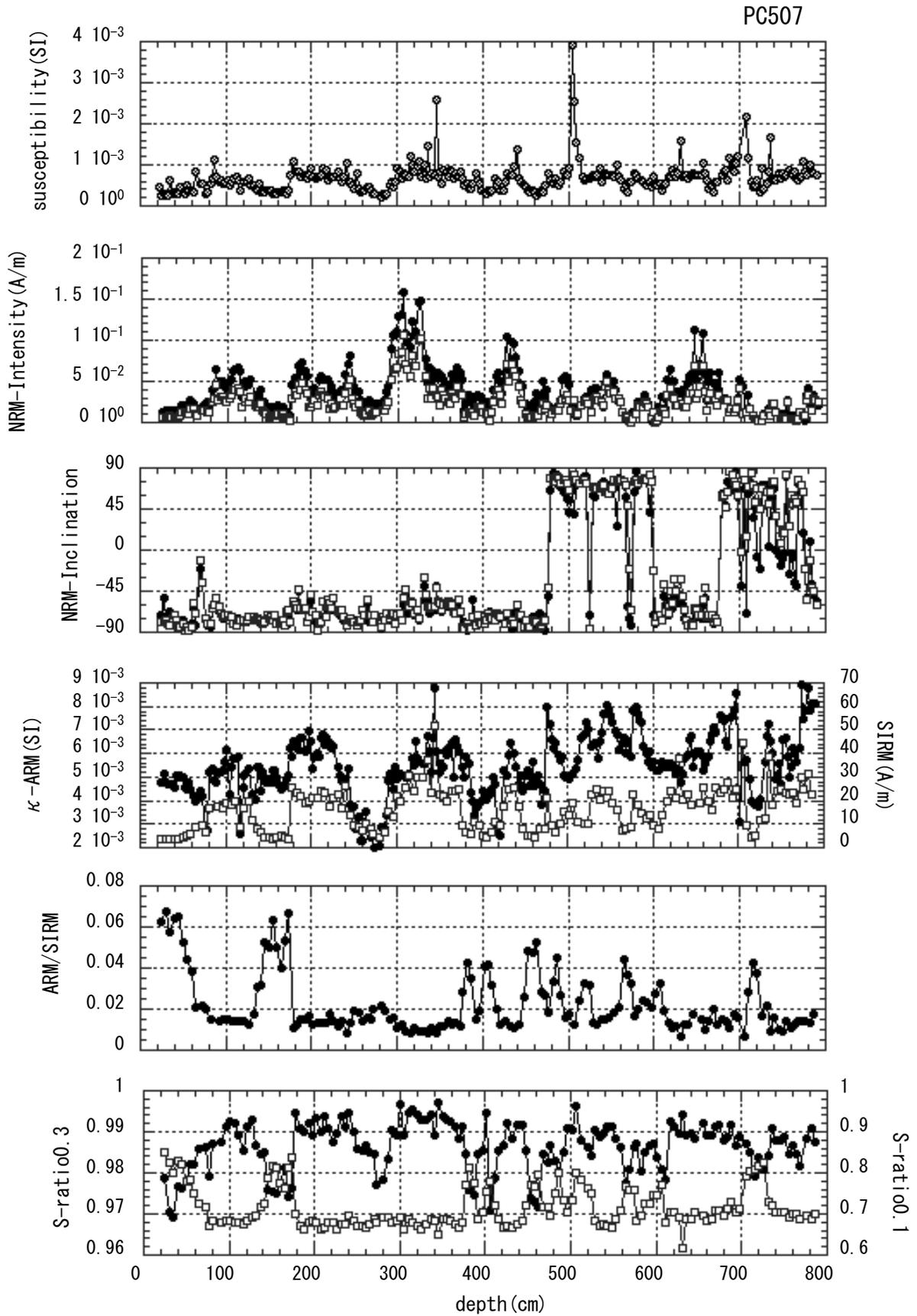


第19図 GC1508 ウィルクスランド沖.

Fig. 19 GC1508, off Wilkes Land area.

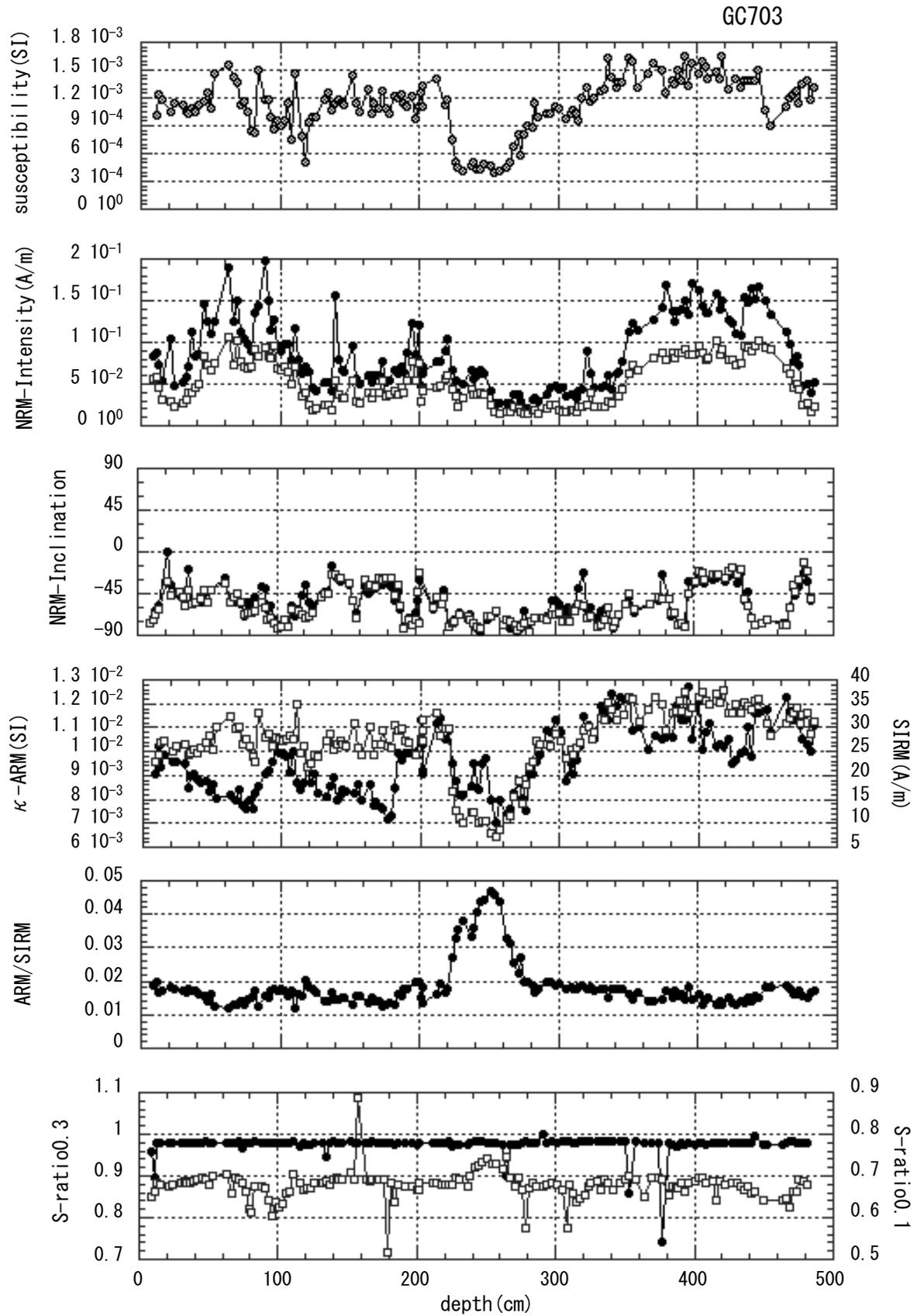


第20図 PC505 プリッツ湾.
Fig. 20 PC505, Prydz Bay area.

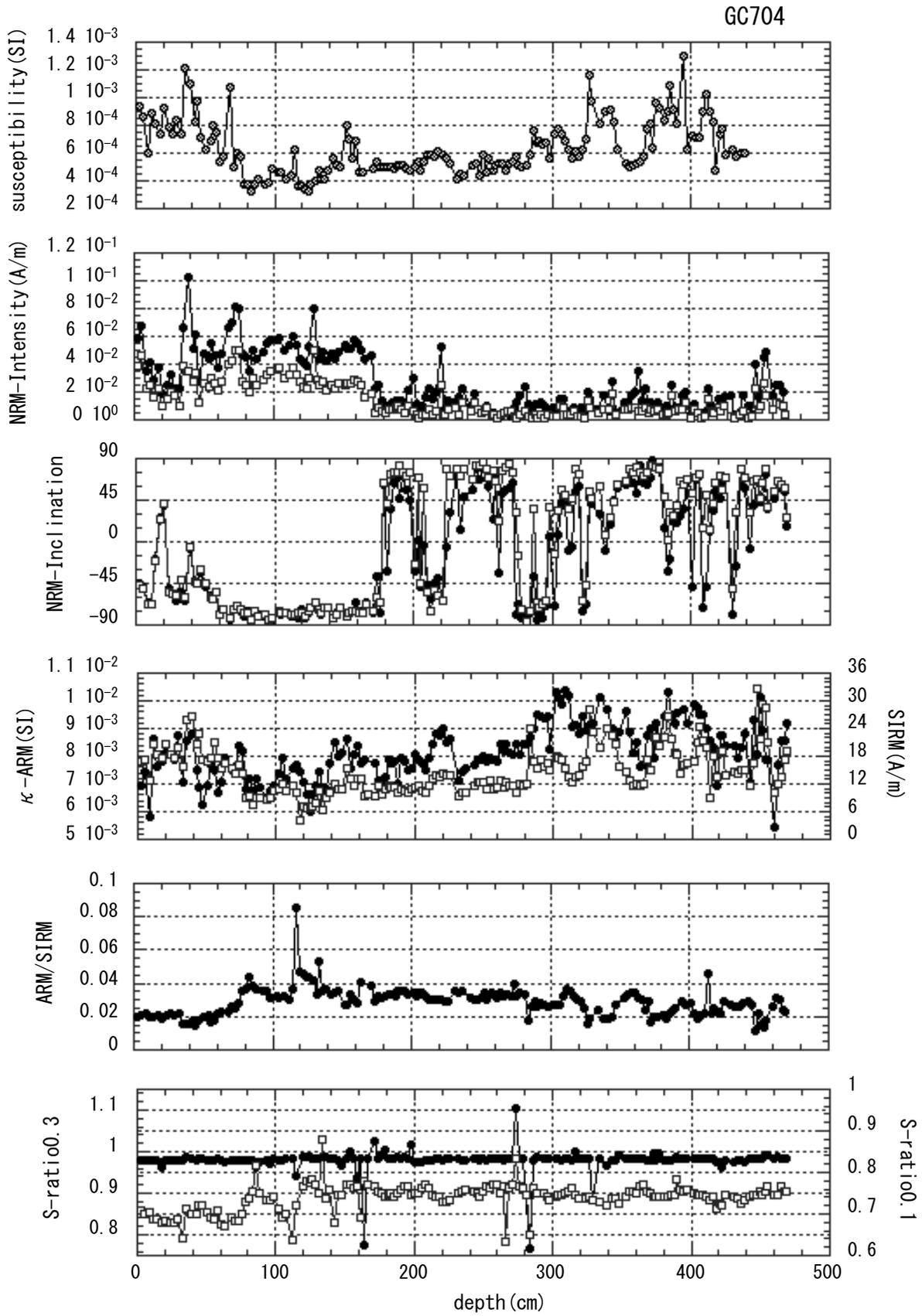


第21図 PC507 プリッツ湾.

Fig. 21 PC507, Prydz Bay area.



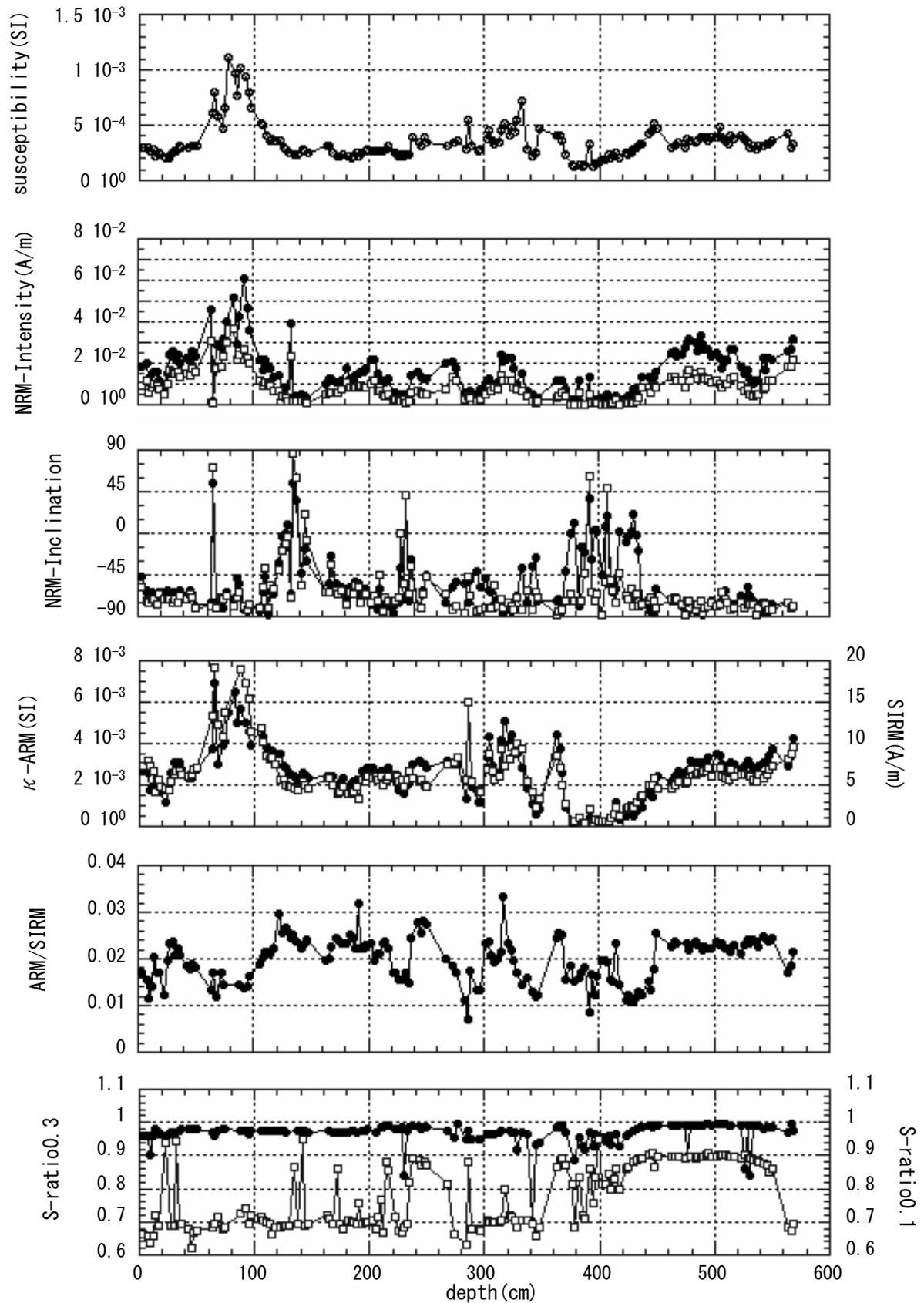
第22図 GC703 アムンゼン海.
Fig. 22 GC703, Amundsen Sea area.



第23図 GC704 アムンゼン海.

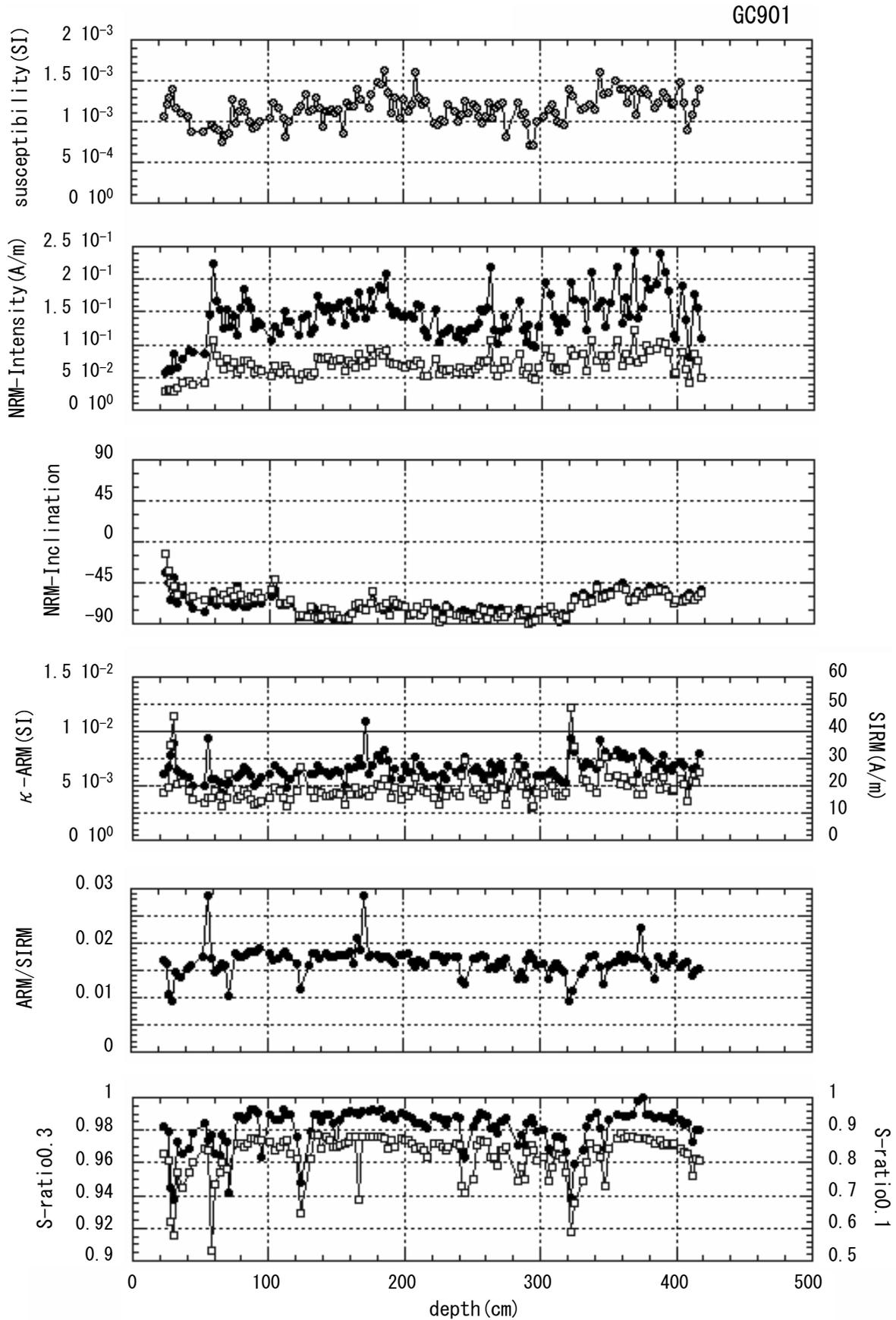
Fig. 23 GC704, Amundsen Sea area.

GC809



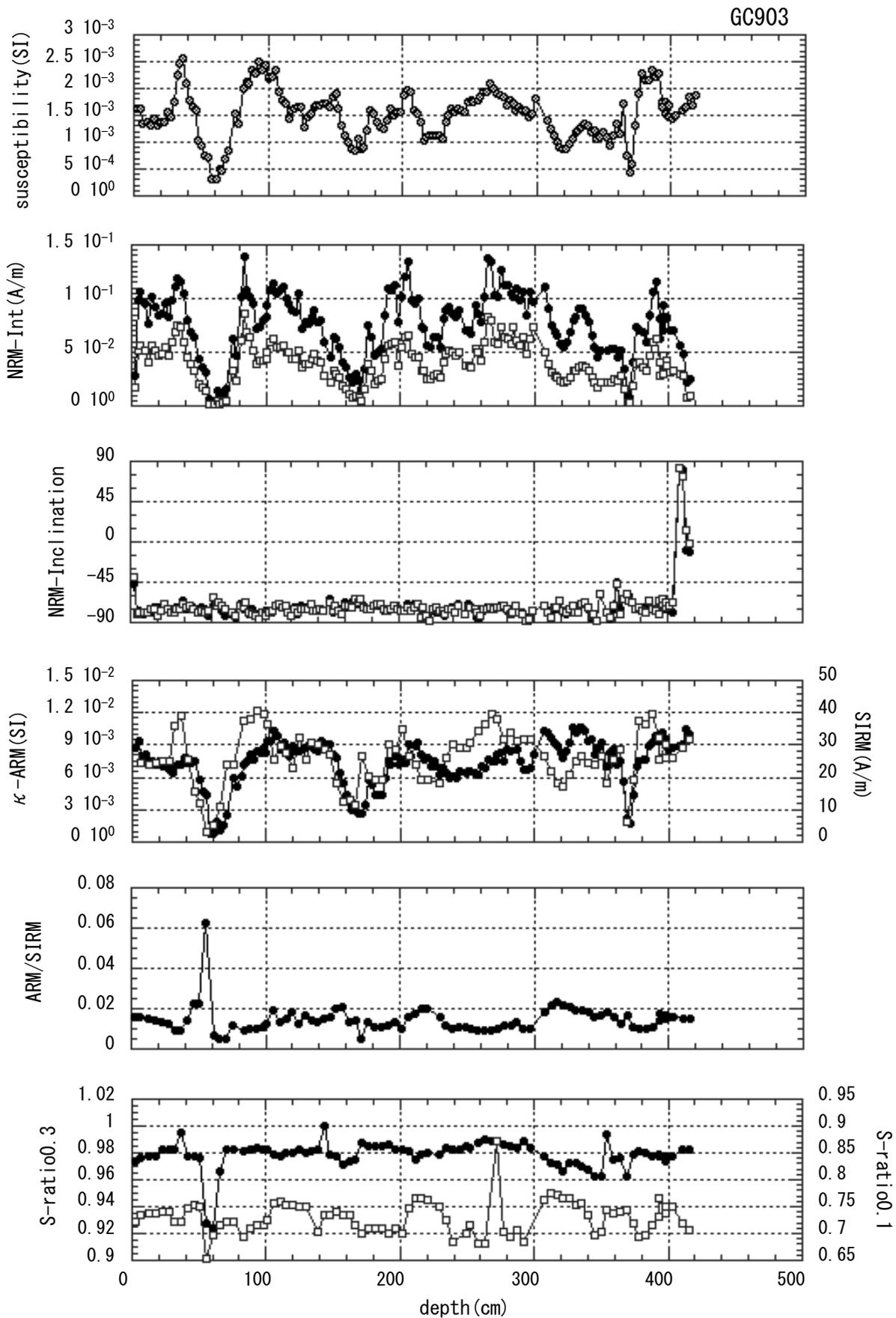
第24図 GC809 南極半島沖.

Fig. 24 GC809, off Antarctic Peninsula area.



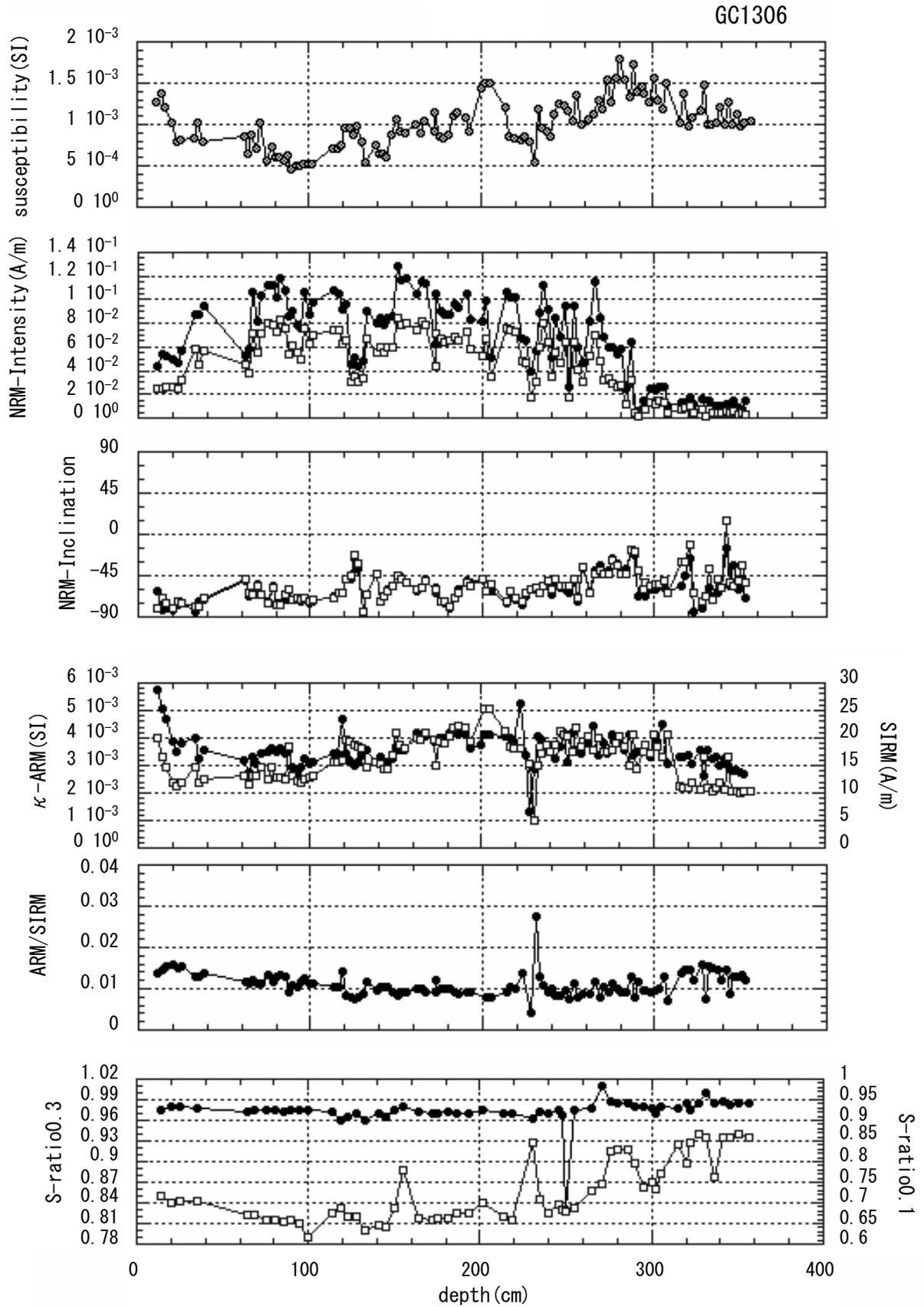
第 25 図 GC901 南極半島沖.

Fig. 25 GC901, off Antarctic Peninsula area.



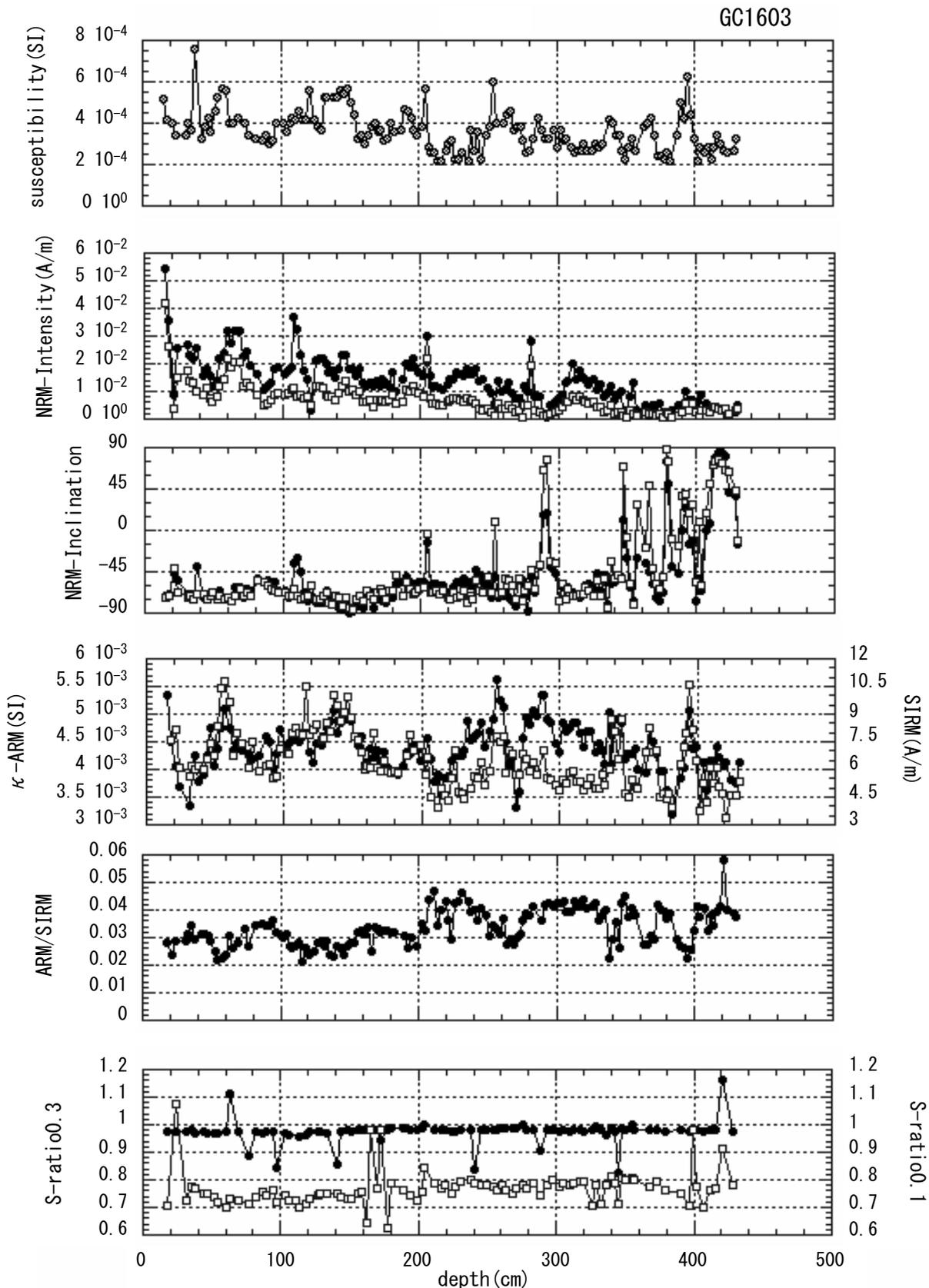
第26図 GC903 南極半島沖.

Fig. 26 GC903, off Antarctic Peninsula area.



第27図 GC1306 ロス海.

Fig. 27 GC1306, Ross Sea area.



第28図 GC1603 ロス海.
Fig. 28 GC1603, Ross Sea area.

文 献

- Banerjee, S. K., King, J. W. and Marvin, J. (1981) A rapid method for magnetic granulometry with applications to environmental studies. *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 333-336.
- 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.
- Evans, M. E. and Heller, F. (2003) Environmental Magnetism. 299p, *Academic Press*.
- 藤本正道・辻 喜弘 (2002) 石油公団による南極周辺海域地質調査で得たデータと試料—その総括と今後の活用—, 南極地学シンポジウム講演要旨, 国立極地研究所.
- 石油公団 (2001) 南極海の堆積物および岩石に関する地質データ—石油公団による南極調査—, 石油公団 CD-ROM.
- King, J. W., Banerjee, S. K., Marvin, J. and Özdermir, Ö. (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.
- 小玉一人 (1999) 古地磁気学, 東京大学出版会.
- 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**, 3, 315-327.
- Nishimura, A., Nakasone, T., Hiramatsu, C. and Tanahashi, M. (1998) Late Quaternary paleoenvironment of the Ross Sea continental shelf, Antarctica. *Annals of Glaciology*, **27**, 275-280.
- Otofujii, Y., Katsura, I. and Sasajima, S. (1982) Decay of a post depositional remanent magnetization in wet sediments due to the effect of drying. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **70**, 191-203.
- Sugiura, N. (1979) ARM, TRM and magnetic interactions: Concentration dependence. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **42**, 451-455.
- 鳥居雅之 (2005) 環境磁気学—レビュー—. 地学雑誌, **114**, 284-295.
- 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. and Ioka, N. (1997) Cautionary note on magnetic grain-size estimation using the ratio of ARM to magnetic susceptibility. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 751-754.
- Yamazaki, T., Solheid, P. A. and Frost, G. M. (2000) Rock magnetism of sediments in the Angola-Namibia upwelling system with special reference to loss of magnetization after core recovery. *Earth Planets Space*, **52**, 329-336.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. *AGU*, **79**, p.579.

(受付：2005年5月9日；受理：2005年7月21日)