

全自動古地磁気測定装置

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新妻, 信明, 小山, 真人 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000330

全自動古地磁気測定装置

新妻信明¹・小山真人²

Paleomagnetic Processor: A fully automatic portable spinner magnetometer combined with an AF-demagnetizer and magnetic susceptibility anisotropy meter

Nobuaki NIITSUMA¹ and Masato KOYAMA²

Abstract: A new combination system for paleomagnetic measurement incorporates the following four instruments: a ring-core-type flux-gate spinner magnetometer, an alternating field (AF) demagnetizer, an anhysteretic remanent magnetization (ARM) superimposer, and a magnetic susceptibility anisotropy meter.

The system is composed of the following mechanisms and circuits:

- ① a specially designed ring-core sensor and its driving circuits,
- ② a sensor holder incorporating three sets of coils, which are utilized for AF demagnetization, ARM overprinting, and susceptibility anisotropy measurement, respectively,
- ③ a mechanism for sample rotation and resetting for 6-spin measurement, using a pair of non-magnetic ultrasonic motors and motor drivers,
- ④ a μ -metal magnetic shield case,
- ⑤ a demagnetizing current generator and power amplifier,
- ⑥ a regulated current source for ARM overprinting and magnetic susceptibility anisotropy measurement,
- ⑦ a central controller (notebook-personal computer), digital voltmeter, GP-IB Interface, I/O board, and relay board.

In this system, the whole measurement process is controlled by the central computer, which executes the sample rotation and reset during 6-spin magnetization measurement, the ON/OFF and wave-form control of the demagnetizing current during stepwise AF demagnetization, and the ON/OFF control of the DC magnetic field during ARM overprinting or susceptibility anisotropy measurement.

The noise level of the magnetometer corresponds to 3×10^{-8} kA/m (=emu/cc) for 30 cc samples, using 10 replications of stacking measurement. The maximum field intensity of the AF demagnetizer is 45 mT. The measured results are presented by computer graphics on the screen of a computer immediately after each measurement. The total weight of the system is only about 35 kg, which is light enough for field use.

Key words: paleomagnetism, ring-core flux-gate, spinner magnetometer, AF-demagnetizer, magnetic susceptibility, anhysteretic remanent magnetization

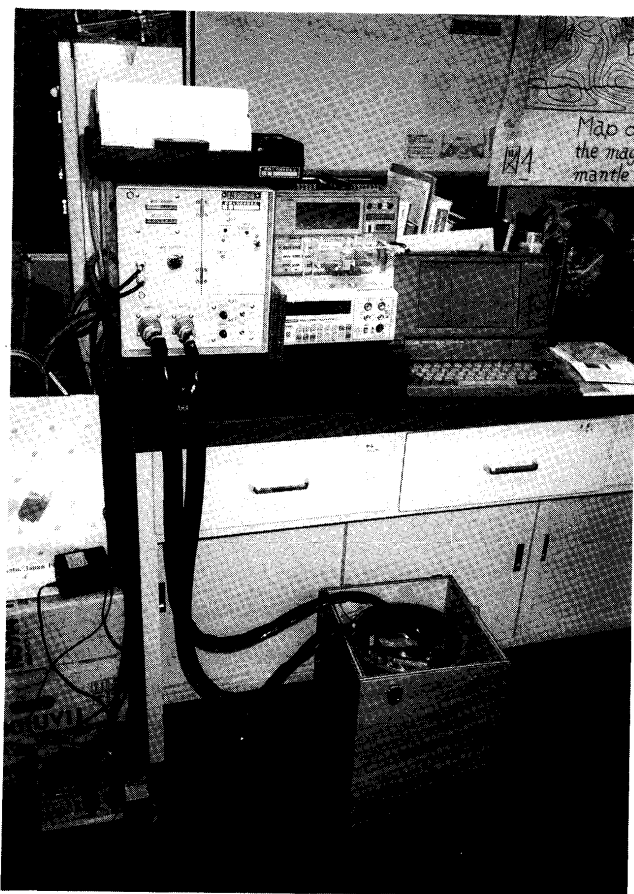


Fig. 1 全自動古地磁気測定装置

Paleomagnetic Processor: A fully automatic portable spinner magnetometer combined with an AF-demagnetizer, magnetic susceptibility anisotropy meter and anhysteretic remanent magnetizer.

緒 言

古地磁気学の研究は、地球科学や考古学の分野において行なわれ、その測定法や科学的基礎が確立された現在、種々の学術研究や調査分野に浸透している。古地磁気学の分野においても良質な信頼できる古地磁気測定結果を多量に得ることが急務であるとともに、古地磁気測定は種々の調査や研究には無くてはならない基礎測定項目の一つになるに至っている。

古地磁気測定のためにこれまで多くの種類の磁力計や消磁装置が市販されている。しかし、岩石の残留磁気測定のための磁力計や消磁装置は別個の装置として製作されており、古地磁気の情報を得るために必要な適切な消磁操作や残留磁気の測定には専門家の判断が必要とされてきた。最近の磁力計は微弱な残留磁気の測定を可能にしたが、残留磁気に含まれる二次磁化を適切に除かなければ、本来の古地磁気を知ることができない。そこで、古地磁気学の専門家はこの二次磁化をいかに除くかについて研究を行なうとともに、各種の消磁装置を考案して使用している。このように少数

の専門家に頼っている状態では、急増する古地磁気測定についての需要にとっても答えることができない。

本装置はこのような需要に答えるために製作されたものであり既に製品化に成功しており (Fig. 1), この装置および測定結果も既に報告されている (Niitsuma & Koyama 1989; 新妻・岡田 1989). また、東京大学海洋研究所新白鳳丸航海 (1989), 国際海洋掘削計画 ODP の Leg 126 (1989; Taylor Fujioka *et al.* 1990; Koyama *et al.* 1992), Leg 145 (1992), Leg 146 (1992), Leg 147 (1992), Leg 149 (1993) においても使用されている。

装置の概要

本装置は専門家以外の人にも信頼できる古地磁気測定が可能のように、消磁装置と残留磁気測定装置を一体化して磁気シールドケース内に収め、一連の測定操作の間に生じる人為的な磁化を防いでいる。また、煩雑な測定試料の置き換えや測定装置の操作を全てコンピュータ制御として、測定操作の誤りが測定結果に入り込むことを防止している。また、交番磁場誘起用交流の極性を切り替えることによって交番磁場消磁操作に際して不測の磁化が起きていないことを自己診断する機能も備えている。さらに、古地磁気学研究に広く使用されている帯磁率異方性の測定と非履歴磁化システムも組み込まれている。これらの操作・測定は全てコンピュータによる自動化が行なわれており、一人で3台を使った同時並行測定も行うことができ、大量の試料についての定常測定を可能にするものである。測定結果は、測定と同時にコンピュータグラフィックスで表示され、測定終了とともにハードコピーされ、ディスクに保存された測定値はその後の解析やグラフの作成に使用できる。

装置の構成

本装置は、測定装置・消磁装置をまとめた本体 (25×25×40cm) と制御部 (25×30×40cm) を主体とし、これらを制御するノート型パーソナルコンピュータ、プリンター、磁力計出力および交番磁場強度を測定するデジタルボルトメータ、交番磁場消磁用の音響用アンプ、交番磁場出力をモニターするオシロスコープを接続する (Fig.2)。これらの接続装置は、市販のものを使用している。装置全体がコンパクトにまとめてあり、総重量も 35kg であるので、運搬・移動も容易で、設置場所を選ばず、研究室や事務所の机においても測定可能であり、実験室においては複数台使用することによって大量の試料の同時測定が可能である。また、調査現場の宿舎や調査船に持ち込み、採取試料をその場で測定することも可能である。

1) 本体測定部

木製の蓋付き箱で、蓋には運搬用取っ手が付けてあ

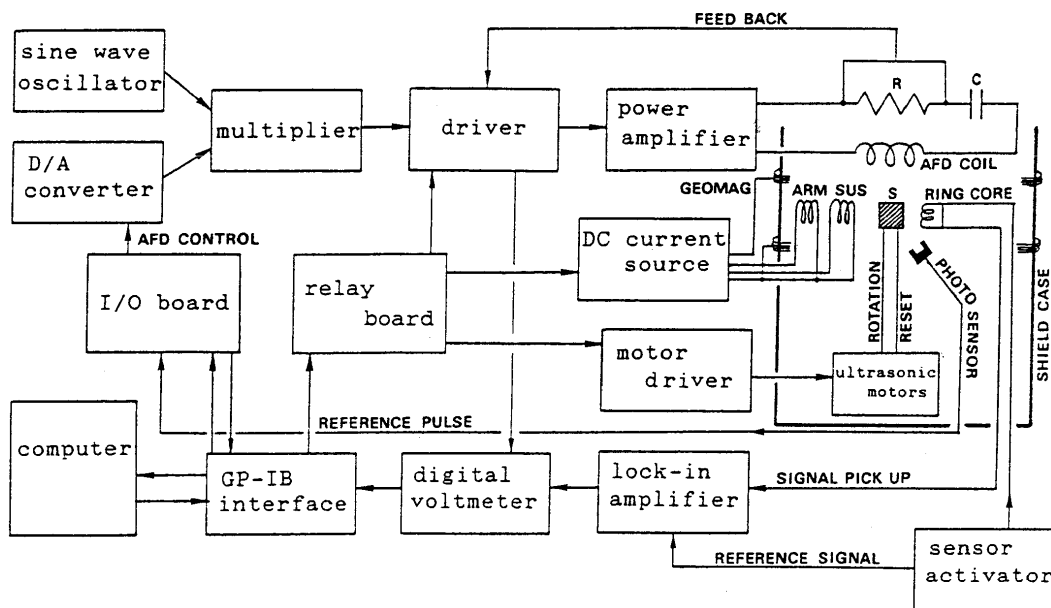


Fig. 2 全自動古地磁気測定装置の構成を示すブロックダイアグラム

Block diagram of the Paleomagnetic Processor. AFD: alternating field demagnetization; ARM: coil for overprinting of anhysteretic remanent magnetization; SUS: coil for magnetic susceptibility anisotropy measurement; GEOMAG: coil for canceling of geomagnetic field; S: sample; R: resistor (0.25Ω); C: capacitor ($2\mu F$); RING CORE: ring-core type flux-gate sensor.

る。木製箱には、磁気シールドケースおよび測定機本体 (Fig.3) が入っている。箱の底面には 4本の高さ調節可能な足が付いており、設置場所に合わせて箱上面が水平になるように調節できる。

2) 本体制御部

レベル計やバーニアダイヤルそして多くのコネクタが付けられているアルミ製の箱であり、測定電子系が全て収められており、他の部分とコードで接続されている。アルミ箱の上面には運搬用取っ手が付けられている。

3) 大出力アンプ

交番磁場消磁に使用する大交流電流を得るためのアンプである。市販の業務用音響ステレオアンプを使用している。最大交番磁場消磁レベルはこのアンプの最大出力によって制限される。

4) デジタルボルトメータ

磁気センサーの出力を計測し、GPIBインターフェースを通して測定値をコンピュータに送る他に、交番磁場強度のモニターとして使用する。

5) コンピュータ

本装置の測定操作、制御、測定結果の計算処理を全て行なうものである。制御・測定はすべてGPIBを使用して行なっている。コンピュータプログラムは N88BASICで書かれたものをMS-DOS上でコンパイルしたものを使用している。本コンピュータからGPIBによって測定・制御しているものは、デジタルボルトメータ、交番磁場消磁用 D/Aコンバータの制御および試料回転・置き換え用フォトセンサー入力のための IOボード、種々の接続を制御するリレーボードである (Fig. 2)。

6) プリンター

コンピュータ用プリンターであり、測定値の打ち出しの他に測定結果のコンピュータグラフィック画面のハードコピー、非測定時の磁力計ノイズレベルのモニター画面のハードコピーに使用する。

7) オシロスコープ

交番磁場消磁用電流が厳密に制御されているかを監視するために使用する他、本体の電子部品の調整に使用する。

装置を特徴付ける構成

本装置は従来の磁力計および消磁装置とは異なる以下のような特殊な部品や構成を有している。

1) 特製リングコアフラックスゲート磁気センサー

従来のリングコアセンサーを残留磁気測定用に使用する場合にはリングの外側に試料を置いていたので (例えば、新妻・小山 1981)、試料とセンサーとの距離が離れており、測定感度を高めることができなかった。本装置では、プラスチック製ボビンに μ メタルリボンを巻いたリングの外側に 0.2mm銅線を 200回トロイダルに巻いて励起コイル (activation coil) とし、その中心に試料が入るように設計した。リングの対角位置に 0.1mm銅線 100回のコイルを 2組巻き、直列に繋ぎ感磁コイル (pick-up coil) とした (Fig. 4)。励起コイルは励磁周波数と安定に共振するコンデンサーを直列あるいは並列接続し、最大励磁振幅が得られるように調整した。この調整が磁気センサーの S/N比を基本的に支配している。感磁コイルにも共振用のコンデンサーを並列に接続しているが、完全な共振状態にお

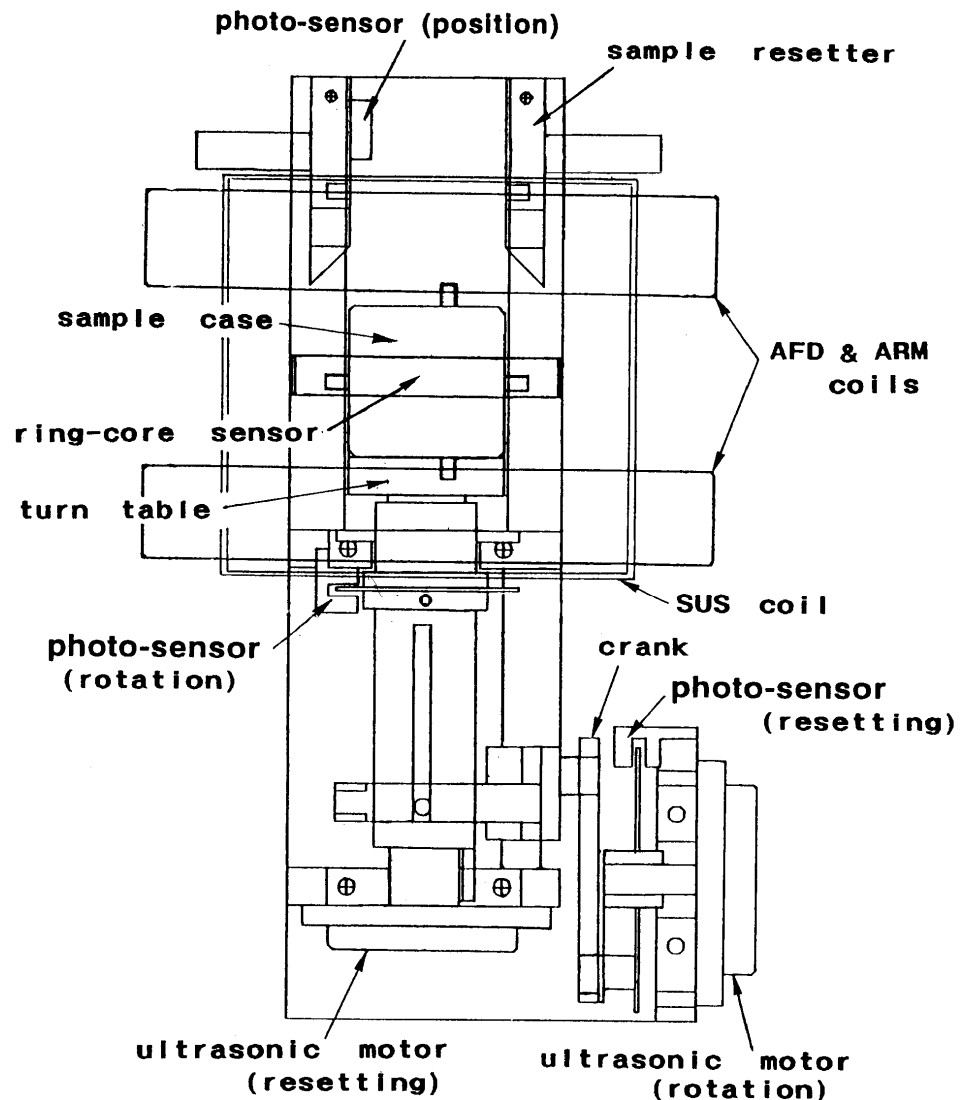


Fig. 3 全自動古地磁気測定装置の本体測定部

Main part of the Paleomagnetic Processor. AFD: alternating field demagnetization; ARM: anhysteretic remanent magnetization; SUS: magnetic susceptibility.

いて出力が大きくなるが不安定であり、出力とともにノイズも大きくなるので S/N比の改善にはそれほど貢献しない。従って、感磁コイルについては共振状態よりも容量の大きいコンデンサーを使用している。

2) 非磁性超音波モーターによる測定試料全自動ハンドリングシステム

残留磁気の測定には試料の挿入・回転・置き換えを必要とする。従来の装置ではこれらの操作を手動および電磁誘導モーターを使用して行なってきた。手動による試料の操作が介在することは、測定の際に測定者の付き添いを要請するとともに誤操作の可能性が常に存在し、多量の定常的測定に使用するには限界があった。電磁モーターは磁気ノイズを発するので、非磁性の長い回転軸やベルトを用いて電磁モーターを磁気センサー部から離す必要性から、磁力計の大きさを小さくできない主要な原因となっていた。

本装置では非磁性材料で製作された超音波モーターを使用することによって装置を携帯可能な大きさに収

めることができた。超音波モーターはセラミック製の圧電素子を真鍮製の振動子 stator に接着し、順および逆方向の進行波を発生させ、リン青銅バネによって圧着させたアルミ製回転子 rotor を回転させるものである (Fig. 5)。これらの構成部品に磁性材料が使用されていないので磁気ノイズ源とならない。本装置においては試料回転用と置き換え用の2つの超音波モーターを使用している。

試料の回転および置き換えについての自動化については既に無定位磁力計 (新妻・小山 1981) およびリングコア型フラックスゲート磁力計 (小山・新妻 1983) において偏心回転軸を付けた試料ケースを用いて実現していたが、本装置においては操作性の向上と同一試料の連続測定を可能にするための改良を加えた。置き換えの基本動作は、試料ケースに付けてある偏心回転軸を支軸台で支えると重力によって試料ケースが回転することを利用したものである。従来の装置においては、置き換える時に、左右2つの支軸台を下から上

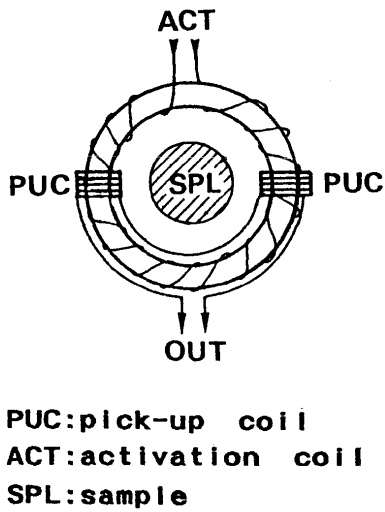


Fig. 4 全自動古地磁気測定装置に用いられているリングコア磁気センサー

Schematic diagram of specially designed ring-core-type flux-gate magnetic sensor and its driving circuits of the Paleomagnetic Processor.

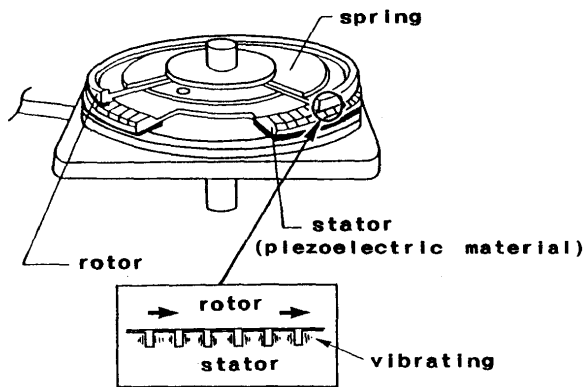


Fig. 5 全自動古地磁気測定装置において試料回転・置換に用いられている超音波モーターの構造と作動機構

Structure and mechanism of ultrasonic motor, used for rotation and resetting of a sample in the Paleomagnetic Processor.

昇させ試料ケースが回転後、下降させる方式を用いていた(新妻・小山 1981)。これに対して本装置では左右に動くV字状の支軸台を持った板を上部に2枚取り付け、試料ケースを支軸台板の間に上昇させ(Fig. 6)、試料ケースの回転軸を支軸台板に挟み、試料台を下降させることによって試料ケースが重力によって回転した後(Fig. 7)、試料台を上昇させて試料ケースを載せて45°回転させて支軸台板を左右に広げて下降させる方式を採用した。

試料ケースの偏心回転軸は、従来2組付けて2回の置き換え操作を行っていたが、本装置においては3組付けることにより、3回の置き換え操作によって試料挿入状態に戻るよう改良した。この改良によって、3つの軸の回りについての残留磁気の測定のために、試

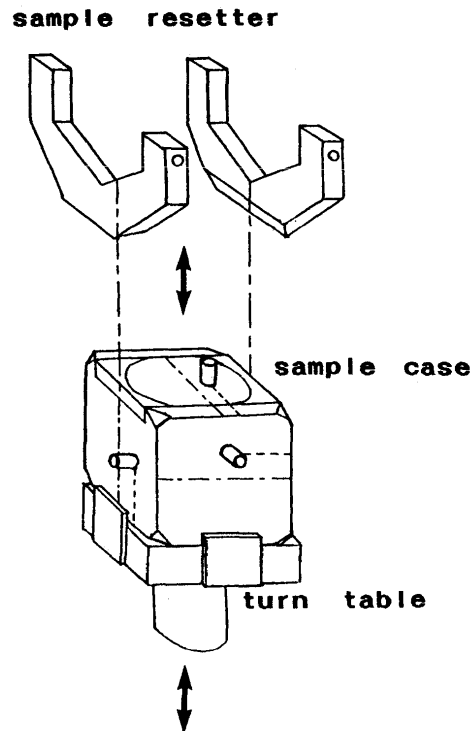


Fig. 6 全自動古地磁気測定装置における試料ケースと置き換え用の支軸台板

A pair of sample resetters and sample case with three pairs of eccentric rotation axes on a vertically movable turn table.

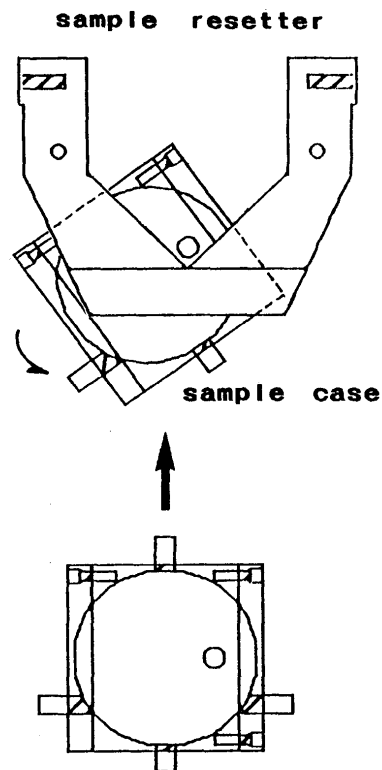


Fig. 7 全自動古地磁気測定装置における試料ケース置き換え機構

Mechanism of sample resetting around an eccentric axis of a sample case on sample resetter.

```

BS IH06RB : site [ 35.0N, 140.0E; 6.0W] Hz= 1006.00m Depth= 0.0cm 94/03/05
NP2 bedding [st=N 70E dip= 10N] orient [st=N 70E dip= 0N] vol= 17.8cc 5 turn
JobNo. TRT Jn(kA/m) Jsus(kA/m) D1bed Disite Disample +0.00173Am2/10uV
646 NRM 4.04E-05 1.81E-07 (352.7+57.1)(357.6+66.7)(107.6+66.7) 17:49:22
+- 0.022mV +-I= 0.9 VGPbed[+83.5N +76.6E] VGPsite[+75.6N+133.7E]
647 +05 4.25E-05 3.59E-07 ( 2.5+58.6)( 11.4+67.6)(121.4+67.6) 17:52:18
+- 0.022mV +-I= 0.8 VGPbed[+85.2N+163.4E] VGPsite[+72.4N+164.7E]
648 +10 3.97E-05 2.95E-07 ( 5.9+56.7)( 15.2+65.4)(125.2+65.4) 17:55:20
+- 0.023mV +-I= 0.6 VGPbed[+84.7N-157.5E] VGPsite[+73.1N+177.6E]
649 +15 3.51E-05 1.52E-07 ( 6.1+54.5)( 14.4+63.1)(124.4+63.1) 17:58:26
+- 0.024mV +-I= 0.7 VGPbed[+85.0N-131.6E] VGPsite[+75.4N-175.4E]
650 +20 3.13E-05 2.85E-07 ( 5.5+53.7)( 13.4+62.5)(123.4+62.5) 18:01:37
+- 0.022mV +-I= 0.6 VGPbed[+85.4N-122.6E] VGPsite[+76.4N-174.4E]
651 +25 2.78E-05 3.48E-07 ( 5.8+51.3)( 13.0+60.0)(123.0+60.0) 18:04:51
+- 0.021mV +-I= 0.6 VGPbed[+84.3N -99.5E] VGPsite[+78.2N-163.9E]
652 +30 2.50E-05 2.45E-07 ( 5.2+49.7)( 11.9+58.5)(121.9+58.5) 18:08:09
+- 0.022mV +-I= 0.3 VGPbed[+83.7N -86.0E] VGPsite[+79.7N-157.6E]
653 +35 2.28E-05 2.13E-07 ( 4.3+48.4)( 10.4+57.3)(120.4+57.3) 18:11:32
+- 0.024mV +-I= 0.3 VGPbed[+83.3N -74.2E] VGPsite[+81.2N-152.5E]
654 +40 2.07E-05 2.48E-07 ( 3.8+47.0)( 9.4+56.0)(119.4+56.0) 18:14:59
+- 0.023mV +-I= 0.8 VGPbed[+82.5N -66.3E] VGPsite[+82.2N-143.8E]
655 -40 1.27E-05 2.10E-07 (351.9+42.3)(354.3+52.1)(104.3+52.1) 18:19:58
+- 0.022mV +-I= 0.5 VGPbed[+77.3N -4.0E] VGPsite[+84.7N +25.3E]
656 SUS 1.23E-05 2.04E-06 (353.8+41.7)(356.6+51.4)(106.6+51.4) 18:22:08
+- 0.023mV +-I= 0.4 VGPbed[+77.8N -12.3E] VGPsite[+85.9N +4.7E]
sus at 21.6microT dif sus Job No.= 655 qn= 1.49
[1]+1.59E-06 ( 6.7-18.8)( 5.6 -9.8)(115.6 -9.8)
[2]+1.16E-06 (275.5 -3.4)( 95.7 -1.0)(205.7 -1.0)
[3]-4.77E-08 (175.7-70.9)(191.2-80.2)(301.2-80.2)
657 A40 3.22E-05 1.90E-07 (345.0+67.2)(348.7+77.1)( 98.7+77.1) 18:24:46
+- 0.022mV +-I= 0.5 VGPbed[+71.5N+108.3E] VGPsite[+58.9N+130.9E]
ARM(U)sample= -3.14E-05(+ - 5.13E-07)
658 +05 2.84E-05 2.94E-07 (346.1+65.1)(350.0+75.0)(100.0+75.0) 18:34:46
+- 0.018mV +-I= 0.6 VGPbed[+74.0N+103.6E] VGPsite[+62.4N+129.8E]
ARM(U)sample= -2.75E-05(+ - 2.80E-07)
659 +10 2.56E-05 2.04E-07 (346.7+63.2)(350.3+73.1)(100.3+73.1) 18:37:50
+- 0.021mV +-I= 0.6 VGPbed[+75.9N +97.6E] VGPsite[+65.5N+127.9E]
ARM(U)sample= -2.45E-05(+ - 2.24E-07)
660 +15 2.28E-05 2.38E-07 (348.1+60.8)(352.0+70.6)(102.0+70.6) 18:43:19
+- 0.024mV +-I= 0.3 VGPbed[+78.5N +89.7E] VGPsite[+69.3N+126.9E]
ARM(U)sample= -2.15E-05(+ - 1.91E-07)
661 +20 2.05E-05 1.68E-07 (348.1+59.5)(351.6+69.3)(101.6+69.3) 18:48:52
+- 0.020mV +-I= 1.0 VGPbed[+79.2N +82.8E] VGPsite[+71.1N+124.3E]
ARM(U)sample= -1.92E-05(+ - 1.72E-07)
662 +25 1.81E-05 1.38E-07 (349.6+56.7)(353.2+66.5)(103.2+66.5) 18:52:08
+- 0.023mV +-I= 0.8 VGPbed[+81.3N +68.4E] VGPsite[+75.1N+122.5E]
ARM(U)sample= -1.66E-05(+ - 5.42E-08)
663 +30 1.65E-05 2.82E-07 (353.3+53.0)(357.5+62.6)(107.5+62.6) 18:55:28
+- 0.020mV +-I= 0.5 VGPbed[+84.3N +37.2E] VGPsite[+80.8N+128.9E]
ARM(U)sample= -1.47E-05(+ - 1.80E-07)
664 +35 1.51E-05 2.29E-07 (352.3+49.7)(355.7+59.4)(105.7+59.4) 19:03:30
+- 0.024mV +-I= 0.7 VGPbed[+82.1N +17.7E] VGPsite[+83.7N+108.4E]
ARM(U)sample= -1.30E-05(+ - 1.53E-07)
665 +40 1.29E-05 2.54E-07 (352.2+44.6)(355.0+54.3)(105.0+54.3) 19:09:17
+- 0.021mV +-I= 1.1 VGPbed[+79.0N -0.6E] VGPsite[+85.9N +49.4E]
ARM(U)sample= -1.05E-05(+ - 2.16E-07)

```

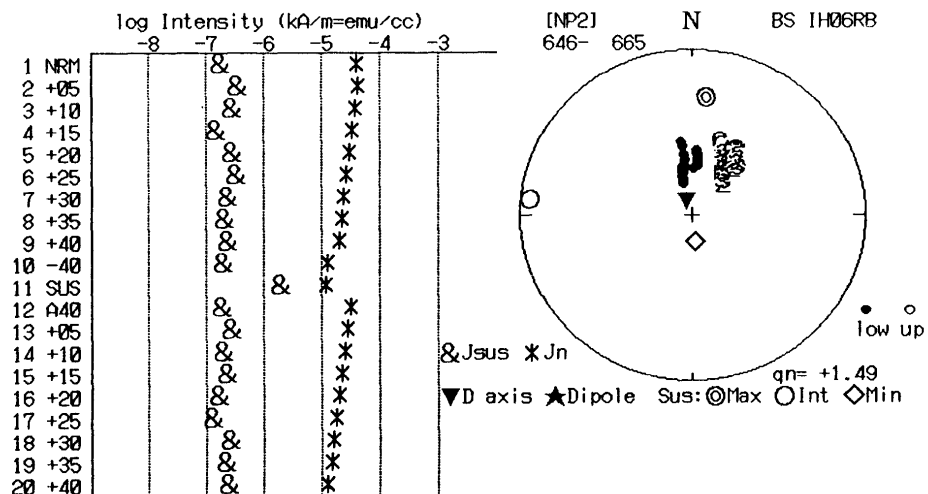


Fig. 8 全自動古地磁気測定装置による測定結果の打ち出し例

Example of computer graphics on measured results, printed out immediately after a series of measurements on a sample. The computer graphics are presented on the screen of a computer during the measurements, and new measured results are added to it immediately after each measurement.

TRT: treatment of sample; NRM: natural remanent magnetization; +05: remanent magnetization after AF-demagnetization level of 5mT of positive polarity; -40: AF-demagnetization level of 40mT of negative polarity; SUS: measurement of susceptibility anisotropy; A40: remanent magnetization after over-print of anhysteretic remanent magnetization at 40mT. Jsus: intensity of 180° component; Jn: intensity of 360° component; D axis: direction of down axis of sample; Dipole: geomagnetic direction at sampling site; Sus: directions of anisotropy axes of magnetic susceptibility; Max: maximum axis; Int: intermediate axis; Min: minimum axis; qn: anisotropy parameter of magnetic susceptibility (=log₂((Min-Int)/(Int-Max)); Taira & Niitsuma 1985).

料台を180°回転させて再び残留磁気を測定することによって試料台の磁気を相殺することができるとともに、消磁と残留磁気測定操作を交互にあるいは連続的にこなうことが可能になった。

3) コンピュータ制御交番磁場消磁システム

交番磁場消磁は古地磁気学的測定において定常的に行なわなければならない基本的操作である。これまで残留磁気測定用の磁力計と交番磁場消磁装置と2つの装置を用いて、残留磁気測定後、交番磁場消磁を行なってから再び残留磁気を測定する操作を繰り返してきた。その間の試料の出し入れは人手に頼っていたので、それぞれの装置が自動化しても古地磁気測定操作全体としては、頻繁に人手を要する作業となっていた。また、これらの装置は μ メタルによる磁気シールドケースの中に収めてあるのが一般的であり、試料を出し入れするシールドケースの入り口付近の磁場はシールドケースからの漏洩磁場によって地球磁場の2倍程度と強くなっており、その中を消磁操作の度に通過することになり、精密な消磁測定には限界があった。本装置においては交番磁場消磁用ヘルムホルツコイル(0.7mm銅線を半径5.8cmで529回巻いたコイル2組を直列接続;コイル定数12.4mT/Arms)を磁力計の磁気センサー部に装着することによって、試料を装置の外に取り出さずに連続的に交番磁場消磁と残留磁気測定を可能にした。

交番磁場消磁においては、交番磁場が滑らかに増大し、設定強度を保持した後、滑らかに減少しなければならない。本装置では、正弦波発生器から得られる約340Hzの正弦波とコンピュータ制御されたD/Aコンバータから得られる直流電圧を掛け算器に入力し、正弦波の振幅をコンピュータ制御している。交番磁場の増加と減少が滑らかになるようにD/Aコンバータからの直流電圧を積分回路によって平滑化している。交番磁場は、3.5mT/sの割合で0.1秒毎に上昇し、0.5秒設定交番磁場を保持し、1.75mT/sの割合で0.2秒毎に下降するようコンピュータ制御しており、最大45mTまで設定できる。交番磁場消磁操作は、試料に対して全方位均一に行なうために試料置き換え装置によって2回置き換えて直交する3軸方向について3回消磁を行なう。

交番磁場消磁に用いる交流の歪みは非履歴残留磁化をもたらすので、歪みの無い正弦波の交流でなければならない。本装置では振幅制御後の正弦波を2段のバンドパスフィルター回路に通して歪みの無い正弦波を得ており、交番磁場発生用コイルに直列に付した低抵抗(0.25 Ω)の両端の電位差からコイル電流値を得て交流発生器に負帰還させる電流制御を行なっている(Fig. 2)。また、交流発生器とコイルの間のコンピュータ制御の中間スイッチによって発生する交番磁場の極性を切り替えることにより同一交番磁場消磁レベルにおいて正逆の消磁が可能である。交流波形の歪みがある場合には、非履歴残留磁化が起こるが、極性を逆転させると磁化方向が逆になる。正逆両消磁を行ないその後の残留磁気を比較することによって交流波形の歪みによる非履歴残留磁化の有無を直接定量的に測定す

ることができる。

4) 非履歴残留磁化システム

直流磁場の存在下で交番磁場消磁を行なうと安定な非履歴残留磁気(Anhysteretic Remanent Magnetization, ARM)が獲得される。この非履歴残留磁気は、試料中の磁性鉱物の量や性質を知るための基礎的指標であり、古地磁気研究には欠かすことができない。本装置では非履歴残留磁化用の直流磁場発生コイル(0.5mm銅線を半径5.8cmに26回のコイルを2組直列接続;コイル定数40.3 μ T/100mAで100 μ Tまで設定可;29.0 μ Tを使用)を交番磁場消磁用コイルの内側に同方向に向けて設置し、コンピュータ制御によって非履歴残留磁化操作を可能にした。このコイルには消磁用の交番磁場が直接かかり、コイルに交流が誘導されるため、通常の設定電流装置を用いて直流磁場を発生させると誘導された交流を相殺するように作動するために十分な周波数特性と大きな容量が必要であり、強交番磁場下ではうまく作動しない。本装置ではスイッチング安定化電源を使用し一定電圧をコイルに供給することによって良好な結果を得ている。

本装置は2重の底付き円筒状 μ メタル磁気シールドケースによって外部磁場を遮蔽することにより、水平成分については100nT以下まで遮蔽されており、通常の前消磁操作において残留外部磁場に起因する非履歴残留磁化は起こらない。しかし、鉛直成分についてはシールド効果が落ちることと交番磁場方向と一致していることから試料によっては非履歴残留磁化が起こることがある。このシールドケース内の鉛直成分を除くために、シールドケースの外側にヘルムホルツコイル(0.8mm銅線を半径11.0cmで100回のコイルを2組直列接続;コイル定数81.7 μ T/100mAで $\pm 100\mu$ Tの範囲に設定可)を付けて地球磁場の鉛直成分を相殺している。日本列島における地球磁場鉛直成分は+36 μ T、磁気南極においても-68 μ Tなので、このコイルによって地球上全域で相殺可能である。

5) 帯磁率異方性測定システム

試料は直流磁場下で帯磁するが、この帯磁の大きさ(帯磁率susceptibility)に異方性が存在する場合には直流磁場方向と異なった方向に帯磁する。磁気センサーの感磁方向に直交する直流磁場を発生させて試料を回転させると、残留磁気に直流磁場による帯磁が累加された測定値が得られる。残留磁気は試料回転角360°周期で変化するのに対して、直流磁場による帯磁は180°周期で変化することから、数値処理によって両者の分離が可能であり、帯磁率異方性を定量的に捉えることが可能である。本装置には磁気センサーの感知方向に直交する直流磁場発生用コイル(0.3mm銅線を10.0 \times 11.5cm方形に28回のコイル2組を直列接続;コイル定数26.8 μ T/100mAで100 μ Tまで設定可;21.6 μ Tを使用)とコンピュータ制御された定電流装置が付されており、360°周期成分とともに180°周期成分を定常的に算出しているため、帯磁率異方性の測定が可能である。

6) 測定結果のコンピュータグラフィック表示・打ち

出し及びディスク書き込み

測定結果が測定直後に表示されることは、測定操作や消磁、磁化等の操作が適切に行なわれているかを知るために必要である。特に消磁や磁化操作が不適切な場合には貴重な測定試料の磁気が破壊されてしまう恐れがあり、測定結果を瞬時に直感的に判断できるグラフィック表示が望まれる。本装置においては、1測定ステップ終了毎にコンピュータ画面のステレオネット上に測定結果を表示するとともに360°周期成分と180°周期成分の残留磁気強度を対数でグラフ表示する。また、測定条件や消磁強度や磁化操作、測定結果はその都度プリンターに打ち出される。ひとつの試料についての一連の測定が終了するとコンピュータ画面がプリンターにハードコピーされる (Fig. 8)。

測定条件や測定値および地層の走向・傾斜や試料の方位等の試料についての定数は、1測定毎にディスクに記録され、後の解析や作図に利用できる。解析や作図処理プログラムの開発も行なわれている (Niitsuma 1994本号)。

性 能

1) 磁力計のノイズレベルと測定方式

測定方式はフラックスゲート低速度スピナーを用いており、スタッキングは100回までの回数を指定できる。試料の回転は非磁性超音波モーターで行ない、回転速度は1秒に1回である。磁力計センサーには特別設計の大型リングコアセンサーを用いているために、低ノイズレベルで測定強度範囲が広く、堆積岩から火山岩をそのまま測定できる。測定には6回の置き換え操作が非磁性超音波モーターを用いて自動的に行なわれる。ノイズレベルは、30ccの試料についてスタッキング10回で $3 \times 10^{-8} \text{ kA/m}$ (=emu/cc) 程度である。

2) 方位測定精度

磁気センサーの感磁方向と試料回転の規準方向との合致、および磁気センサーの感磁方向と帯磁率異方性測定用磁場方向との合致は、それぞれの補正値をコンピュータに入力することによって行なわれる。これらの方向の合致を達成するために、アクリル円柱の軸の中心部に短い軟鉄針金を封入した規準針 (Orientation Needle) を使用する。針金の形状異方性により、残留磁気と帯磁容易軸は針金の軸方向を持ち、両者の方向が一致する性質を利用する。

磁気センサーの感磁方向の補正値については、規準針の6回置き換えて得られる一連の測定値を用いる。一つの軸の回りの回転によって直交する2つの磁気成分の強度が得られるので、置き換え測定によって同一成分について4組の測定値を得ることができる。試料回転の規準方向と磁気センサーの感磁方向が合致していればこの4組の測定値は同一になるはずである。測定された値に対し、1°毎に補正値を変えながら4組の値を算出し、これらができるだけ等しくなるような補正値を選択する。補正値の選択によって、残留磁気方向は0.5°の精度で測定することが可能になる。

帯磁率異方性測定磁場方向の補正値については、帯磁率異方性測定磁場を印加した状態で規準針の測定を行ない、1°毎に補正値を変えながら帯磁率異方性の方向を算出し、帯磁率異方性の最大軸方向が残留磁化方向と一致する値を選択する。補正値の選択によって0.5°の精度で帯磁率異方性の方向を決定可能である。

3) 測定試料

測定試料として一辺30mm以下の立方体及び直径35mm高さ32mm以下の柱状試料が入る特別設計の試料ケースを使用しているため、これ以下の大きさの試料は全て測定可能である。ただし、測定時には試料ケースに付けられた支軸の回りに回転させるので、試料ケースの中で試料が偏っていると、置き換え不良の原因となるので、測定前に各支軸について均衡が取れているか確かめる必要がある。測定中に置き換え不良が発生すると、本装置は置き換え不良を反射型フォトセンサーで感知し、置き換え直して再測定が自動的に行なわれる。3回連続して置き換え不良が発生した場合には、警告音とともに測定を中断し、試料均衡の取り直しを促す。

4) 測定時間

測定のための試料回転用モーターは1秒に1回の速度で回転しているため、スタッキング回数を10回とすれば、測定そのものに1分、それに置き換え操作や消磁操作が加わるが、1測定ステップに4分、30回で6分、100回で12分を要するのみである。本装置に試料を入れて、コンピュータを操作することによって、指定された全ての測定・消磁・磁化操作は完全自動で行なわれる。スタッキング10回で、0から40mTまで5mT毎の交番磁場段階消磁・測定に加え、30mTと40mTでは交番磁場の極性を交換した消磁・測定も行ない、帯磁率異方性および40mTにおける非履歴残留磁化の獲得とその測定そして40mTまで5mT毎の非履歴残留磁化の交番磁場消磁・測定の合計21測定ステップを指定しても1時間半で処理可能である。

謝 辞

本装置の発案、設計の段階から大和地質研究所の大村一夫博士、ダイヤコンサルタントの伊藤孝氏、メトバの伊藤秀氏、茨城大学理学部の岡田誠博士には種々の援助・協力と助言をいただいた。また、試作機製作に当たっては夏原技術研究所の夏原信義氏に協力いただいた。試料ケースを連続的に置き換える方式への改良は大阪市立大学理学部の弘海原清・塩野清治両博士のコメントに負っている。静岡大学理学部のR. Rossと北村晃寿の両博士、教育学部の大塚謙一博士には本稿作成に当たって助言をいただいた。

引用文献

小山真人・新妻信明 (1983), リングコア型フラックスゲート回転磁力計及び電流制御式3軸交番磁場消

- 磁装置について. 静岡大学地球科学研究報告, **8**, 49-61.
- KOYAMA M., CISOWSKI S. M. & PEZARD P. (1992), Paleomagnetic evidence for northward drift and clockwise rotation of the Izu-Bonin forearc since the early Oligocene. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **126**, 353-370.
- KOYAMA M., CISOWSKI S. M. & GILL J. B. (1992), Paleomagnetic estimate of emplacement mechanisms of deep basaltic volcanoclastic rocks in the Sumisu Rift, Izu-Bonin Arc. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **126**, 371-377.
- NIITSUMA N. (1994), The demagnetization plane: a new method for presenting stepwise demagnetization. *Geoscience Reports of Shizuoka University*, **21**, 21-28.
- 新妻信明・小山真人 (1981), 高感度自動無定位磁力計及び3軸交番磁場消磁装置について. 静岡大学地球科学研究報告, **6**, 35-43.
- 新妻信明・岡田 誠 (1989), 地球中心核と高精度連続地球磁場復元. 月刊地球, 号外 **2**, 39-45.
- NIITSUMA N. & KOYAMA M. (1989), Fully automatic portable spinner magnetometer combined with AF demagnetizer. *IGA Bulletin*, **53B**, 233.
- TAIRA A. & NIITSUMA N. (1985), Turbidite sedimentation in the Nankai Trough as interpreted from magnetic fabric, grain size, and detrital modal analyses. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **87**, 611-632.
- TAYLOR B., FUJIOKA K. *et al.* (1990), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, **126**, 1002p.