

駿河湾西岸後期更新世古谷層の古地磁気

小山真人**・新妻信明*

Paleomagnetism of the Late Pleistocene Furuya Formation
on the West Coast of Suruga Bay, Central Japan

Masato KOYAMA** and Nobuaki NIITSUMA*

Paleomagnetic measurement was made on the Furuya Formation distributed along the western coast of Suruga Bay.

All sediment samples taken from the Furuya Formation are normally magnetized, and can be correlated with a part of the Brunhes Normal Polarity Epoch.

The mean value of the paleomagnetic direction was nearly same as that of the present geomagnetic direction. This direction indicates that the Makinohara Hill, where the Furuya Formation is distributed, has upheaved to the present altitude without any horizontal rotation.

Some samples show the significant changes in the directions of remanent magnetization when they are measured in a magnetic field, such as in the measurement with an astatic magnetometer. This phenomenon is thought to be caused by the large anisotropy of magnetic susceptibility of the sample. Reexamination was made on the samples taken from the horizons where reversed polarity magnetization was reported (KITAZATO *et al.*, 1981) and it is concluded that the samples had remanent magnetization of normal polarity direction originally, and the apparent reversed polarity direction was caused by the magnetic interaction between sample and the magnetic field of the astatic magnetometer.

1. はじめに

静岡県中西部の駿河湾西岸にひろがる丘陵地である牧ノ原台地 (Fig. 1) には、海成のシルト岩を主体とする地層が分布し、古谷層と呼ばれている (池谷・堀江, 1982)。北里ほか (1981) は、この古谷層の4層準について古地磁気を測定し、逆帯磁を示す

試料が認められたことと古谷層が海進期の堆積物であることから、その地層時代を Brunhes 正磁極期中の Blake 亜期に対比した。

今回は、前回報告した試料を採取した露頭から新たに試料を採取し、測定原理・感度共に改良されたリングコア型フラックスゲート回転磁力計 (小山・新妻, 1983) を用いて残留磁気測定を行なうと共に、

1983年1月24日受理

* 静岡大学理学部地球科学教室 Institute of Geosciences, School of Science, Shizuoka University, Shizuoka 422, Japan.

† 現所属: 東京大学地震研究所 Present address: Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Bunkyo-ku Yayoi, Tokyo 113, Japan.

前回採取した試料の再測定も行なった。その結果、すべての試料は正帯磁しており、前回採取・測定した試料も正帯磁を示した。本稿ではその古地磁気測定結果を述べ、前回の測定においてみかけの逆帯磁を示した試料の磁氣的性質について述べる。なお、

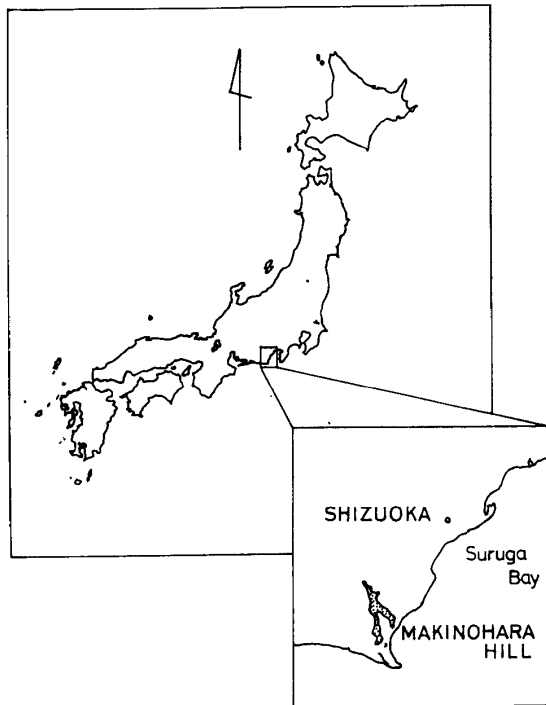


Fig. 1. Map showing the studied area.

古谷層の地質・堆積環境については、北里ほか (1981), 池谷・堀江 (1982), 神谷 (1981MS) を参照されたい。

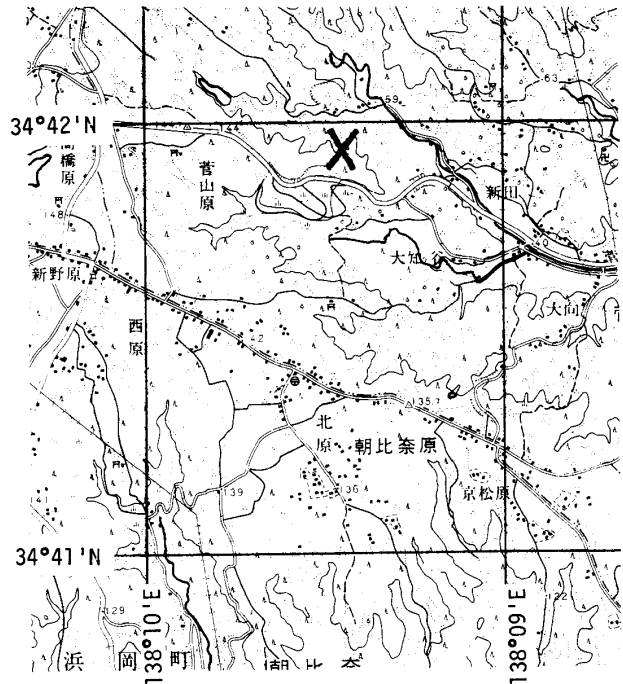


Fig. 2. Map showing the sampling locality for the paleomagnetic study of the Furuya Formation. The topographic map "Sagara" (1:25000) published by the Geographical Survey Institute of Japan was used.

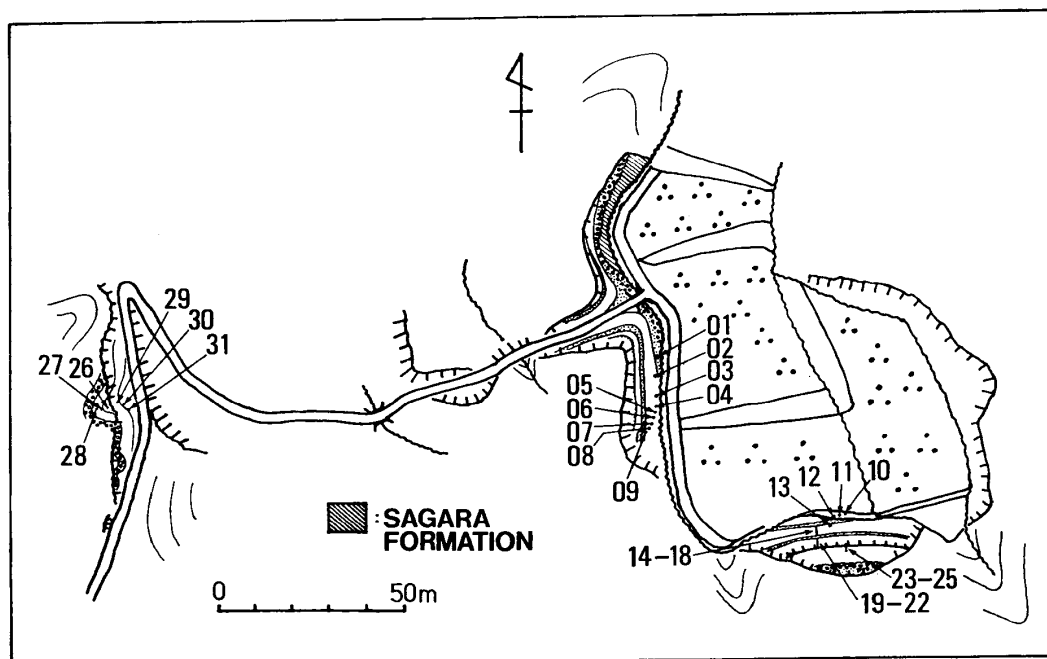


Fig. 3. Map showing the sampling localities for the paleomagnetic study of the Furuya Formation.

2. 試料の採取および測定

古地磁気測定用試料は、北里ほか (1981) の採取した静岡県榛原郡相良町菅山原付近 (34° 42' N, 138° 10' E) の同一露頭 (Fig. 2, 3) において新たに間隔を狭めた 31 層準から採取した。試料採取層準は 100 分の 1 地質柱状図上で選定し、その層位間隔は 0.2~2.5 m である。試料採取にはエンジンドリルを用い、直径 35 mm のコア試料を 1 層準につき 3 本採取した。採取したコア試料は高さ 32 mm に切りそろえ、測定用試料とした。

残留磁気測定にはリングコア型フラックスゲート回転磁力計 (小山・新妻, 1983) を用い、1 層準につき 3 個の試料を測定した。測定の際の交番磁場消磁には、3 軸方向について同時に消磁を行なう電流制御式 3 軸交番磁場消磁装置 (新妻・小山, 1981, 小山・新妻, 1983) を用いた。また、前回採取した 4 層準の試料についても、リングコア回転磁力計を用いて再測定を行なった。

3. 結果

31 層準の試料のうち 8 層準の試料については 5 mT おきに 30 mT までの段階的交番磁場消磁を行なった (Fig. 4, 5)。各段階消磁にともなう残

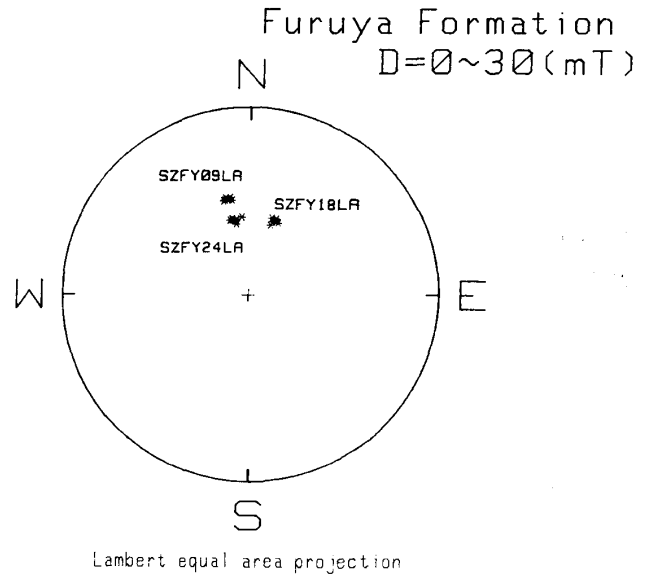


Fig. 4. Changes in the directions of remanent magnetization of pilot samples of the Furuya Formation during stepwise AF demagnetizations. * : lower hemisphere.

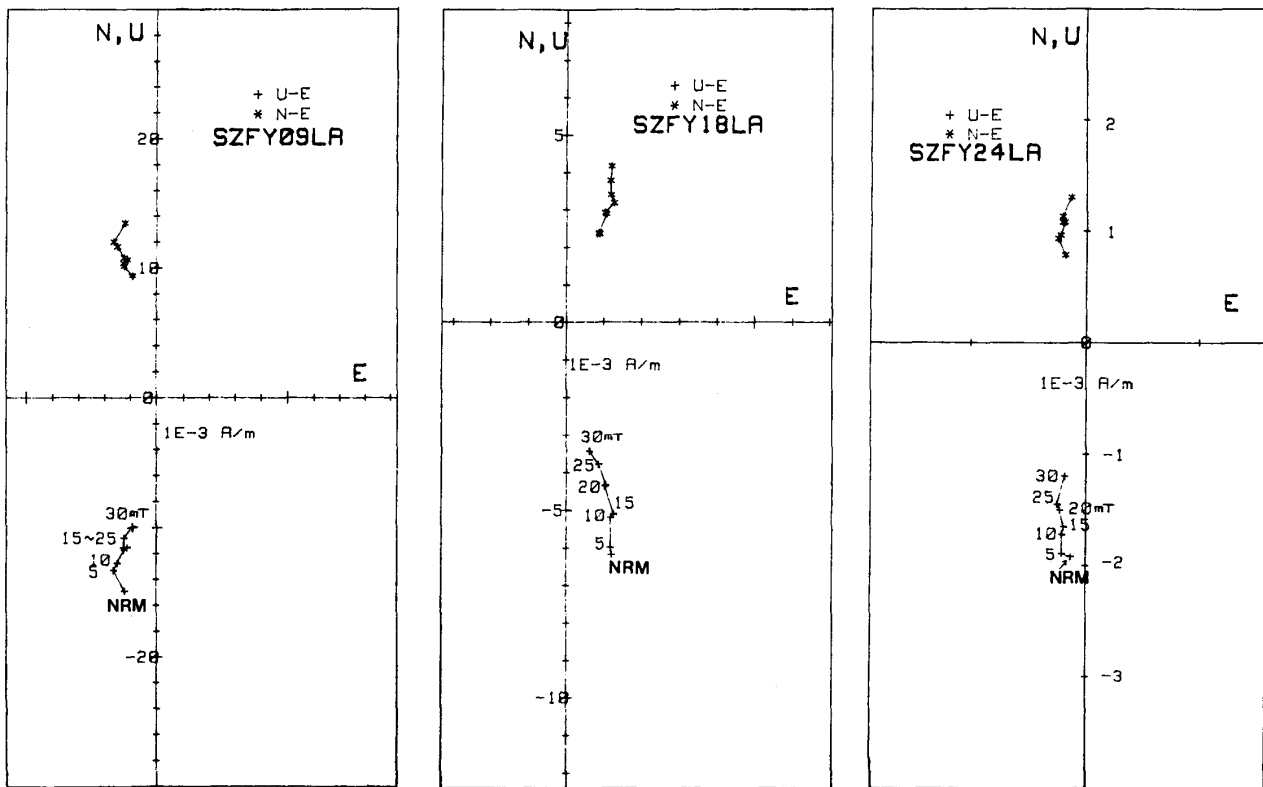


Fig. 5. Stepwise AF demagnetization curves for pilot samples of the Furuya Formation. The numbers in the figure show the intensities of the demagnetizing field (mT).

留磁気方向の変化はすべて 6° 以内であり、10 から 15 mT, 15 から 20 mT, および 20 から 25 mT の段階での変化は 3° 以内である。このことは二次的な不安定な残留磁気成分は 10 mT の交番磁場消磁で除かれることを示している。残留磁気強度は、すべての試料において段階消磁に伴って単調に減少し、NRM と 30 mT 消磁後の強度の比は 1.2~2.1 である。

以上の結果から、不安定な残留磁気成分を除くため 10 mT の交番磁場消磁を適用し、すべての試料の NRM と 10 mT の交番磁場消磁後の残留磁気を測定した (Fig. 6)。10 mT で消磁後の残留磁気強度は、 $7.6 \times 10^{-4} \sim 8.4 \times 10^{-2}$ A/m の範囲にあり、NRM と 10 mT 消磁後の強度比は 1.0~1.7 である。

10 mT の交番磁場消磁後のすべての試料の残留

磁気方向をステレオネット上に示したのが Fig. 7 である。採取地点での古谷層は水平層であるため、地層の傾斜補正は施していない。残留磁気方向の平均は $D=0.2^\circ$, $I=+55.0^\circ$ であり、 α_{95} は 2.5° とよくまとまっている。この方向は、採取地点で北極点に磁極をおいた場合の地球磁場の方向 ($D=0^\circ$, $I=+54.5^\circ$) とよく一致する。また、残留磁気から求められるみかけの磁極 (VGP: Virtual Geomagnetic Pole) の位置は北極点を中心としてその近傍に分布している (Fig. 8)。

4. 試料の磁氣的性質の検討

北里ほか (1981) は、古谷層から採取した 4 層準の試料 (FY 01~04) の残留磁気を高感度自動無定位磁力計 (新妻・小山, 1981) を用いて測定し、中部

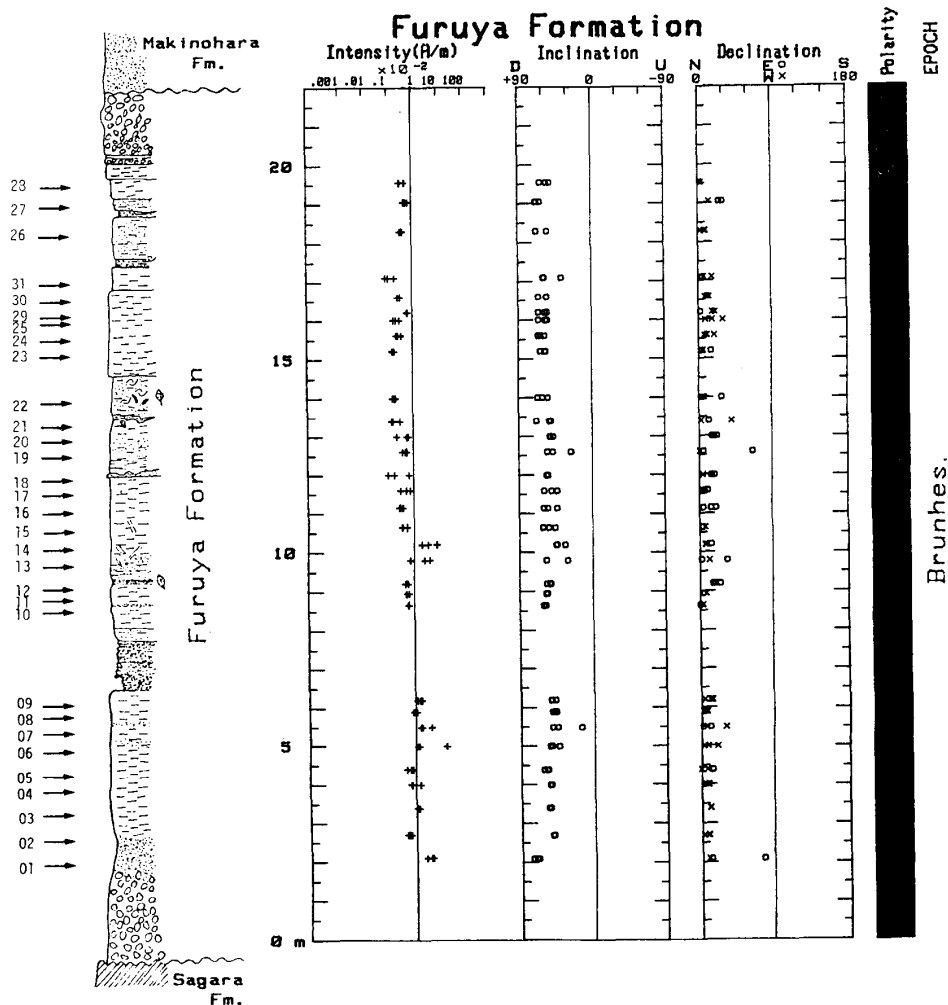


Fig. 6. Results of paleomagnetic measurements of the Furuya Formation. All of the samples were measured after 10mT AF demagnetization.

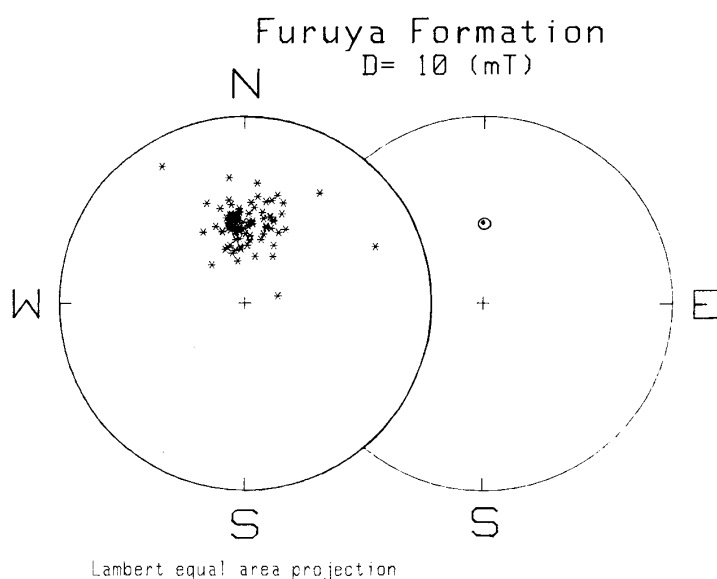


Fig. 7. The left circle shows the distribution of paleomagnetic directions for the Furuya Formation after 10mT AF demagnetization. The right circle shows the circle of α_{95} confidence limit of the mean value of the paleomagnetic direction for the Furuya Formation, and the direction of the axial geocentric dipole field expected at the sampling site (\cdot).
* : lower hemisphere.

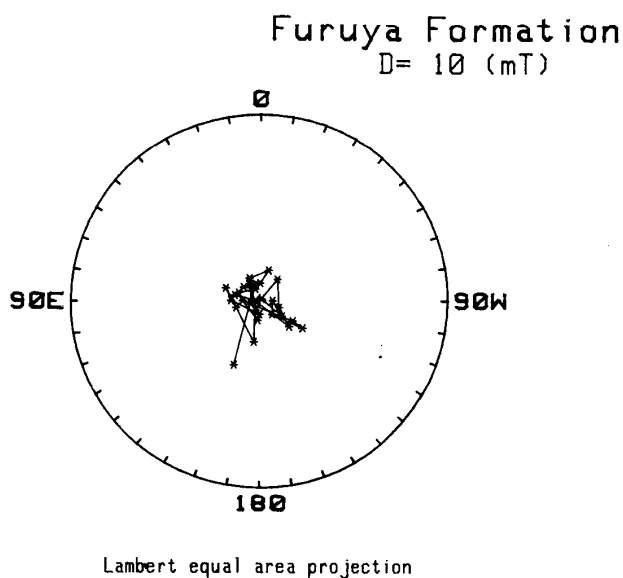


Fig. 8. Loci of the virtual geomagnetic pole through the Furuya Formation.

の2層準が逆帯磁であることをみとめ、Blake 亜期に対比した。しかし、同一露頭から新たに採取した31層準の試料を新たに製作したリングコア型フラックスゲート回転磁力計(小山・新妻, 1983)を用いて測定した所、試料はすべて正帯磁しており、以前採取した4層準の再測定結果もすべて正帯磁で

あった(Fig. 9)。無定位磁力計のノイズレベルは、測定に用いた18ccの試料について 1.1×10^{-3} A/mであり、みかけの逆帯磁を示した試料(FY 02, FY 03)とほぼ同程度の強度であった。しかし、試料FY 02, FY 03の段階的交番磁場消磁における各段階の残留磁気方向は 20° 以内にまとまっており(Fig. 10)、無作為な磁氣的雑音の影響を受けた結果、逆帯磁を示す方向があらわれたとは考えられない。

1個の試料につき直交する3軸のまわりの残留磁気ベクトルを測定すると、直交する3方向のベクトル成分を2組求めることができる。この2組の値の差を残留磁気方向の角度の差に換算したerror angle EI (NIITSUMA, 1971)を古谷層の測定結果について求めてみると、無定位磁力計による測定においては試料FY 02およびFY 03のEIは $37^\circ \sim 41^\circ$ 、FY 01およびFY 04のEIは $13^\circ \sim 14^\circ$ と大きい。リングコア回転磁力計によるEIはFY 01~04について $1^\circ \sim 5^\circ$ であり、無定位磁力計による値より有意に小さい。また、試料FY 02, FY 03の無定位磁力計によるEIは、無作為な磁気雑音のみから期待されるEIの値(小山・新妻, 1983)よりも有意に大きい。

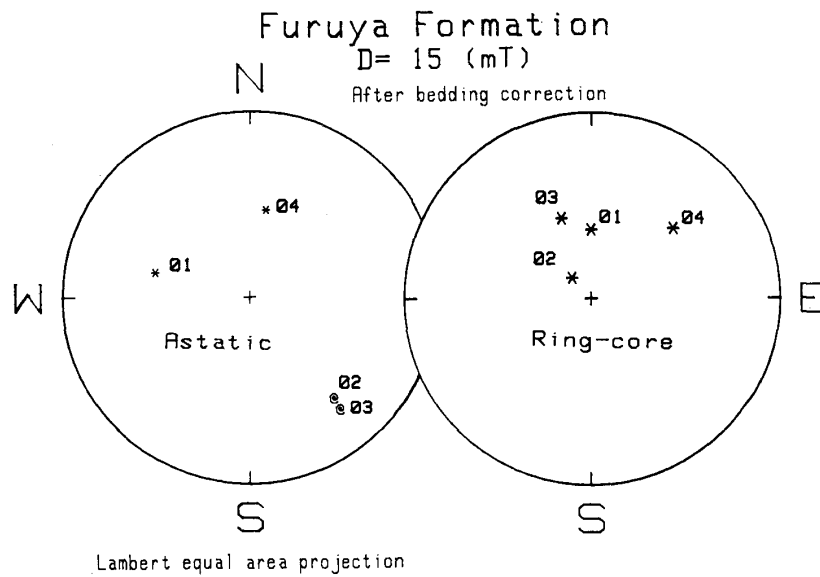


Fig. 9. Distribution of the paleomagnetic directions for the Furuya Formation after 15mT AF demagnetization. The left circle shows the directions measured with Automatic Digital Astatic Magnetometer (NITSUMA & KOYAMA, 1981), and the right circle shows the directions of the same samples measured with Ring-core-type Flux gate Spinner Magnetometer. * : lower hemisphere, @ : upper hemisphere.

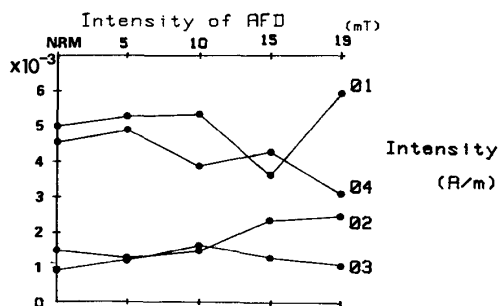
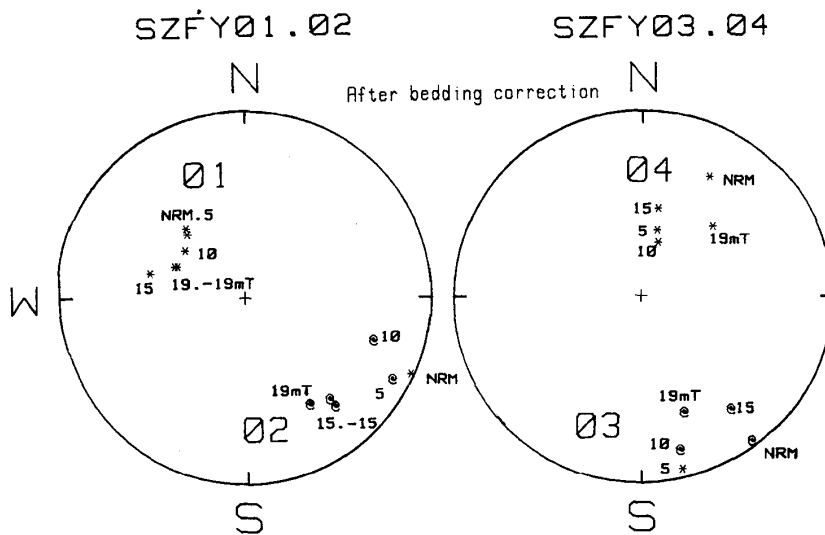


Fig. 10. Stepwise AF demagnetization curves of directions and intensities of remanent magnetization for the samples of the Furuya Formation measured with Automatic Digital Astatic Magnetometer. The upper circles show the changes in the direction of remanent magnetization during stepwise AF demagnetizations. The numbers show the sample number and the strength of demagnetizing field in mT. The negative value corresponds to the reverse connecting of the demagnetizing coils. The lower diagram shows the relationship between the strength of demagnetizing field and intensities of remanent magnetization of samples. * : lower hemisphere, @ : upper hemisphere.

これは、無定位磁力計による残留磁気測定中に無作為な磁気雑音以外の作用が働き、測定値に影響を与えているために生じた現象と考えられる。この作用が具体的に何によるものかを知るために、古谷層の4層準の試料について無定位磁力計およびリングコア回転磁力計による測定結果の比較、ならびに同一試料の帯磁率異方性および初期帯磁率の測定を行なった。

まず、無定位磁力計およびリングコア回転磁力計による測定結果を比較する。残留磁気強度については、無定位磁力計で測られた強度とリングコア回転磁力計で測られた強度との比を求めてみると、試料FY 01が1.7と大きい、他の試料は0.8~1.1の間にあり、同一試料の両磁力計を用いた測定では、ほぼ一致した強度が得られている。ところが、残留磁気方向については両磁力計の測定結果で著しく異なるものがあり、試料FY 01では24°、FY 02およびFY 03では136°~162°の方向の差を生じている。

次に、同じリングコア回転磁力計で測定した結果のうち、帯磁率異方性を測定するために直流磁場を印加して測定したものと、印加せず測定したものの残留磁気測定結果を比較する。残留磁気強度については、磁場を印加して測定した時の強度と磁場を印加しない時の比をみると、試料FY 04が0.9である他はすべて1.0~1.5倍となっており、直流磁場を印加して測定した場合は試料の残留磁気強度が増加している。また、それに伴う残留磁気方向の変化は1°~8°の範囲にあり、強度変化の大きい試料は残留磁気方向の変化も大きい。また、error angle EIも磁場を印加しない状態で0°~3°の範囲にあったものが、磁場を印加した状態で1°~7°と増加している。リングコア回転磁力計において試料に直流磁場を印加して行なう残留磁気測定は、測定器に用いた磁石の発生する直流磁場が試料に印加された状態で測定が行なわれる無定位磁力計での残留磁気測定と物理的に類似したものと考えられる。よって、この両者の測定値を比較・検討することによって試料に印加された直流磁場が試料の残留磁気に与える影響を考察できる。ただし、リングコア回転磁力計においては直流磁場の方向とフラックスゲートセンサーによって測定される方向とを一致させてあるが(小

山・新妻, 1983), 無定位磁力計においては磁場がかかる方向と直交する方向の成分が光テコによって測定される点異なる (Fig. 11)。この違いを念頭において測定結果の検討を行なった。1個の試料について測定される直交した3軸のまわりの測定値を合成・平均した後の値を比較・検討してもその物理的

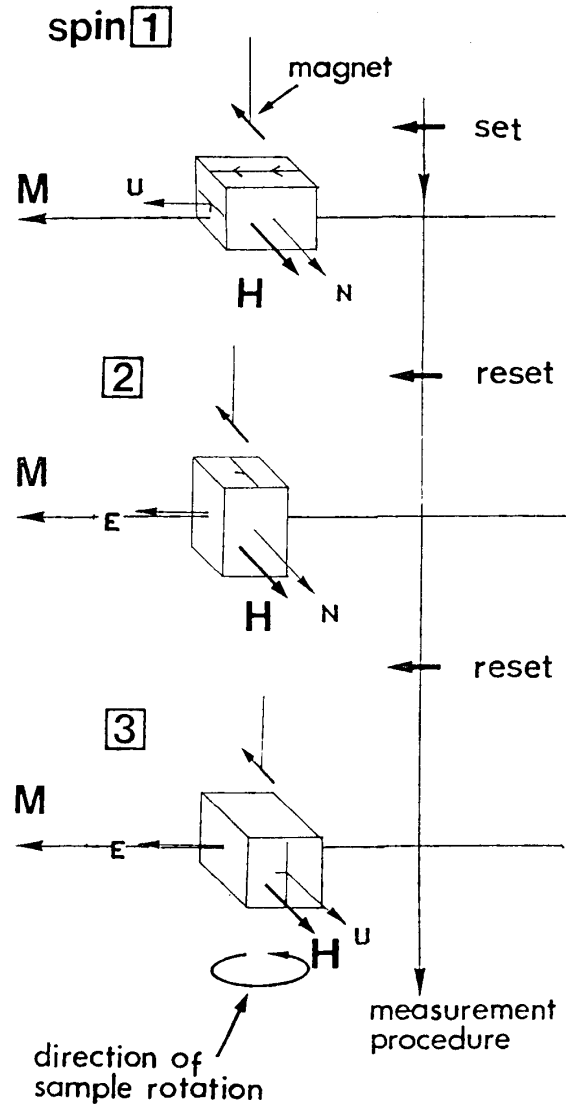


Fig. 11. Schematic sequence (spin ① to③) of Automatic Digital Astatic Magnetometer. N, E, U: axes of the coordinate system of sample, magnet: lower magnet of the parastatic magnet system of the magnetometer, H: direction of the magnetic field made by the lower magnet of the parastatic magnet system, M: direction of the magnetic field measured by the parastatic magnet system. Each figure of sample shows a condition after sample setting or resetting, before sample rotation.

意味は不明確なので、ここでは各々の軸のまわりについて測定された一組の測定値を独立な値として扱い、解析を行なった。

まず、リングコア回転磁力計を用いて測定された残留磁気ベクトルを基準として、それに直流磁場を印加して測定を行なった場合と無定位磁力計を用いて残留磁気を測定した場合の残留磁気ベクトルの差を求めた。この差ベクトルは、試料に磁場を印加することによって生じた残留磁気ベクトルの変化量と考えることができる。この変化量は、無定位磁力計

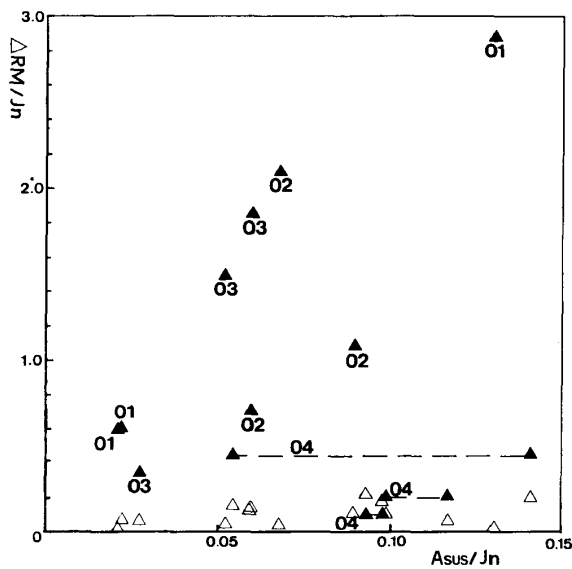


Fig. 12. Relationship between the magnitude of anisotropy of magnetic susceptibility and the amount of the change in remanent magnetization vector. $Asus/Jn$: relative magnitude of anisotropy of magnetic susceptibility against the intensity of NRM in each spin of the measurement procedure. $\Delta RM/Jn$: relative amount of the change in remanent magnetization vector against the intensity of NRM in each spin of the measurement procedure. Point \blacktriangle corresponds to the measured value in each spin of the measurement with Automatic Digital Astatic Magnetometer. Point \triangle corresponds to the measured value in each spin of the measurement with Ring-core-type Flux-gate Spinner Magnetometer, when the magnetic field is applied to a sample for magnetic susceptibility measurement. Points jointed with dashed line show the results of repeated measurements on the same sample. The number shows the sample number of the Furuya Formation samples.

で測定した場合とリングコア回転磁力計で磁場を印加して測定した場合の両方において、帯磁率異方性の大きさに比例して増加している (Fig. 12). その増加の割合は、無定位磁力計を用いて測定した場合の方が大きい。無定位磁力計による測定では、NRM強度の 1/15 程度の帯磁率異方性を有する試料については、NRM強度と同程度の残留磁気ベクトルの変化が生じている。

また、無定位磁力計で測定した場合に生ずる残留磁気ベクトルの変化の方向は、最大帯磁率の方向と $50^\circ \sim 90^\circ$ の角度をなすものが多い (Fig. 13). 無定位磁力計においては、磁力計内の永久磁石の磁場が試料に印加される方向と直交する残留磁気成分が測定されるので (Fig. 11), 試料の最大帯磁率方向と直交する方向の残留磁気成分を測定する時に、最大帯磁率方向と平行な磁場が試料に印加されていること

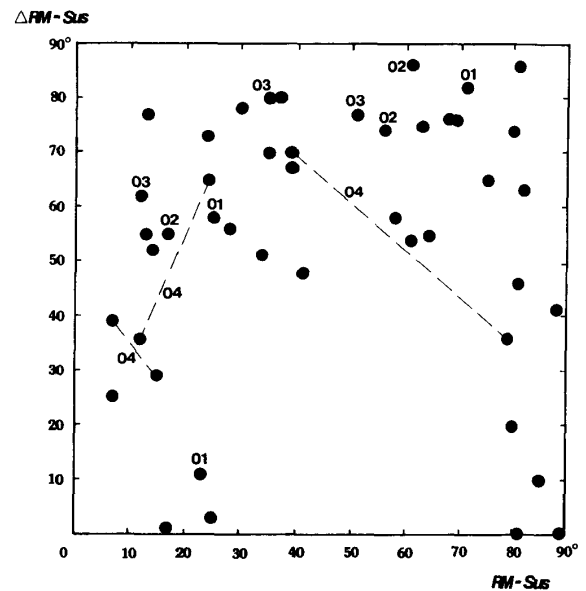


Fig. 13. Relationship between the two angles, RM-Sus and $\Delta RM-Sus$. RM-Sus: angle between the direction of remanent magnetization and the azimuth of maximum magnetic susceptibility, in each spin of the measurement procedure. $\Delta RM-Sus$: angle between the direction of the change in remanent magnetization vector and the azimuth of maximum magnetic susceptibility, in each spin of the measurement procedure. The number shows the sample number of the Furuya Formation sample. Points jointed with dashed line show the results of repeated measurement on the same sample.

になる。この時、印加された磁場により試料の帯磁は最大となり、測定される残留磁気成分が最も大きな影響を受けると考えられる。

リングコア回転磁力計において磁場を印加した状態で残留磁気測定を行なった場合の残留磁気ベクトルの変化の方向と最大帯磁率方向の間には、無定位磁力計による測定におけるような明瞭な関係は見出されない。残留磁気ベクトルの変化量も、同じ帯磁率異方性の大きさをもつ試料を測定した場合、リングコア回転磁力計で磁場を印加した場合の方が無定位磁力計の場合に比べ小さい (Fig. 12)。このことは、無定位磁力計における測定中に試料に影響を与える磁場の大きさが、リングコア回転磁力計で印加する磁場よりも大きいためと考えられる。

以上の事をまとめると、(1)試料に直流磁場を印加して残留磁気を測定した場合、試料の残留磁気ベクトルにはその帯磁率異方性の大きさに比例した変化が生じる。(2)無定位磁力計を用いた測定においては、試料の残留磁気ベクトルには最大帯磁率方向と直交する方向の変化が生じる。(3)北里ほか(1981)の採取した古谷層の試料は、残留磁気強度と比較して大きな帯磁率異方性を有しているため、無定位磁力計を用いた測定において大きな残留磁気ベクトルの変化が生じ、みかけの残留磁気方向が逆磁極方向を示した。

磁力計自身の測定結果への影響は古地磁気研究にとって重要な課題であるが、今回の検討によって判明したことは、同一試料について求められる2組ないし4組の残留磁気ベクトルがどの程度一致しているかを知ることが、磁力計と試料の相互作用を知るための目安となるということ、ならびに帯磁率異方性がこの作用に本質的に関与しているということである。この相互作用の物理的機構および試料の帯磁率異方性との関連については、今後さらに詳しい検討を行なっていく必要がある。

5. まとめ

駿河湾西岸に分布する古谷層の古地磁気の測定お

よび試料の磁氣的性質の検討を行なった。試料の磁氣的性質を検討した結果、本層の堆積物は外部磁場の影響を強く受ける性質を有しており、残留磁気測定時に試料に磁気相互作用を与える無定位磁力計では本来の残留磁気の方角の測定が困難であることが判明した。本層について報告された逆磁極方向の残留磁気(北里ほか, 1981)は、磁力計との磁気相互作用によるものであり、今回の再測定ですべて正磁極方向を有していることがわかった。よって古谷層は、下末吉海進期の堆積物と考えられていること(池谷・堀江, 1982)から、Brunhes 正磁極期に対比される。

測定された残留磁気の偏角から、古谷層の分布する牧ノ原台地は水平回転運動を伴わずに隆起したと考えられる。

謝 辞

古地磁気試料採取の際、本教室の北里 洋、田村努、東京大学地質学教室の神谷隆宏の各氏に協力して頂いた。本教室の池谷仙之、北里 洋の両氏には草稿を査読して頂いた。記して感謝の意を表する。

文 献

- 池谷仙之・堀江善裕(1982), 静岡県牧ノ原台地に発達する古谷層(上部更新統)の堆積環境。第四紀研究, 21, no. 2, 75-93.
- 神谷隆宏(1981MS), 古谷層産介形虫類の古生物学的研究。静大理卒論。
- 北里 洋・新妻信明・小山真人・近藤康生・神谷隆宏(1981), 駿河湾周辺後期更新世根古屋層, 草薙層, 国吉田層, 古谷層の地磁気層序。静大地球科学研報, 6, 45-59.
- 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および電流制御式3軸交番磁場消磁装置について。静大地球科学研報, 8, 49-61.
- NIITSUMA, N. (1971), Detailed study of the sediments recording the Matuyama-Brunhes Geomagnetic Reversal. *Sci. Rep. Tohoku Univ.* [2], 43, 1-39.
- 新妻信明・小山真人(1981), 高感度自動無定位磁力計および3軸交番磁場消磁装置について。静大地球科学研報, 6, 35-43.