

# せんだん帯にともなう古地磁気方位 および岩石磁気異方性の変化

中 井 睦 美\*

## Paleomagnetic direction and rock-magnetic anisotropy with shear zone.

Mutsumi Nakai\*

### Abstract

Analysis about fault and shear zone is an important method to clear the geological tectonics. The rock-magnetic property is one of useful method to study temperature and pressure directions. The samples were collected from gneissic rocks with shear zone, from East Antarctica. The magnetic susceptibility, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS), natural magnetic remanence (NRM), and coercivity were measured. As a result, anisotropy factors of magnetic susceptibility and coercivity are near 1.0 within shear zone, i.e. there are no magnetic anisotropy within shear zone. NRM directions of both side of the shear zone are different from each other, and the NRM directions of shear zone are parallel to the fault direction. Therefore, it is concluded that this shear zone formed low temperature below Curie temperature of magnetite (580°C). These results explain that magnetic properties and the magnetic anisotropy are useful method to study shear zone history.

### 1. はじめに

断層のずれが集中しているせんだん帯は、構造運動の産物であり、形成時の特徴を残す。したがって、せんだん帯の岩石の調査や、周囲の源岩との比較は、せんだん帯形成時の熱や力、環境を明らかにすることであり、岩体の熱構造史、すなわち、地殻の変動史を明らかにすることに通じる。従来、せんだん帯の研究は、周囲の源岩にはない鉱物が生成されていることにより、温度・圧力状態を予想したり、粒子配列や鉱物の長軸方向を直交する3平面の配列を顕微鏡で観察し、せんだん方向の解析をしたりすることであった。また、近年は、断層ガウジの年代測定をおこなう、構造変動の年代測定もおこなわれている。特に、変成岩地帯では、変成時期が複数あったり、構造変動のステージが複数あったりすることが常態であることから、源岩とせんだん帯の熱・圧力・構造履歴の差をもとめることが、せんだん帯形成時の研究をおこなう時の常套手段で

\*大東文化大学文学部教育学科 (Daito-Bunka Univ., Fac. of Literature, Dep. of Education)

ある。

岩石の粒子レベルの解析法としては、磁気特性を用いた物理的手段の調査が有効である。主に、岩石磁気特性を用いた磁性鉱物の変化についての研究、磁性鉱物の熱特性を利用した熱履歴についての研究、各磁気特性の異方性を利用した粒子のサイズ変化や粒子配列についての研究などが考えられる。岩石磁気特性を用いた磁性鉱物の変化には、帯磁率の変化が有効である。というのも、磁鉄鉱を代表とする鉄酸化物は、温度や化学変化に敏感であり、これらの変質は、帯磁率の桁違いの変化を伴うからである。磁性鉱物の熱特性を利用した熱履歴についての研究とは、強磁性鉱物のキュリー点を利用する方法で、キュリー点で磁化する自然残留磁化（NRM）を用いれば、岩石の変成時とせんだん帯形成時の熱履歴についての重要なデータを得ることができると考えられる。各磁気特性の異方性を利用した粒子のサイズ変化や粒子配列についての研究に関しては、磁気ヒステリシス特性が有効で、粒子サイズに関しては保磁力（Hc）が有効であり、粒子配列に関しては、各種磁気特性の磁気異方性（AMH）が有効である（Nakai, 1994）。特に帯磁率の異方性（AMS）については、従来より多くの構造地質学の研究に応用されているが（Borradaile and Alford, 1987; Borradaile and Pummala, 1989; Borradaile *et al.*, 1990; Goldstein and Brown, 1988）、保磁力など他の磁気特性の異方性についての研究は少ない。本研究では、これらの手法を組み合わせ、せんだん帯の磁気特性が源岩とどのような差が見られるか、また、そのデータからどんなことが予想されるかを、変成岩試料を例として検証する。

## 2. 試料および地質

本研究に用いた岩石試料は、東南極大陸昭和基地が属するリュッツホルム岩体のルンドボークスヘッタ（経度39.1°E, 緯度65.4°S）から採取されたものである。石川正弘博士に提供していただいた。リュッツホルム岩体は、約5億年前の最終変成を受けた高温変成岩で、ルンドボークスヘッタはその最奥にあたり、岩体は高温のグラニュライト相に達している（Motoyoshi *et al.*, 1993）。

Ishikawa *et al.* (1994) は、ルンドボークスヘッタの変成作用にともなう詳細な地質構造解析を行い、最高変成時以前に3段階の変成過程があったことを証明し、最高変成時後に、褶曲、単斜輝石ペグマタイト・塩基性岩脈の貫入、external shear zoneの形成、ductile thrustの形成、ペグマタイトの貫入のそれぞれの変形と火成活動があったことを報告した。

本研究に用いた岩石試料は、ルンドボークスヘッタのせんだん帯をともなうザクロ石黒雲母片麻岩のグラニュライトである（図1）。せんだん帯を形成している岩石がグラニュライト相に達していることから、このせんだん帯は最高変成時直後の高温時に形成された可能性が高いと推定される（石川正弘博士私信）。本研究では、このせんだん帯およびその周辺から、図1にあるように、1 cm径のコアサンプルを定方位で採取し磁気測定に用いた。岩石試料に含まれている鉱物は主にTiをあまり含まない磁鉄鉱であるが、一部の磁鉄鉱の周囲には赤鉄鉱が形成されてい

る (図 2).

### 3. 測定

採取したコアは、1 cmの長さに整形し、超伝導磁力計を用いて、自然残留磁化 (NRM) を測定した。NRM は、段階消磁テストをおこなったあとに、15mT で交流消磁をおこない、その後測定した NRM を残留磁化方位として採用した。

さらに、それらの定方位試料に直交する 3 面内で、45° おきに180° 5 方向の測定で、合計15 方向に、± 1 T の外部磁場をかけ、それぞれの方向にヒステリシス曲線を測定した。測定には、振動型磁力計を用いた。すべての試料は、常磁性の部分のをぞきほぼ 1 T で磁化は飽和し、ヒステリシス曲線は、直線状になった。測定したヒステリシス曲線から、高磁場 (1 T) および低磁場 (0.1T) の帯磁率、飽和残留磁化、保磁力を読み取り、磁気特性として解析に用いた。ただし、高磁場の帯磁率は常磁性鉱物の特性をあらわすので、本研究では、強磁性鉱物を中心に議論をおこなうので、帯磁率は強磁性鉱物の特性を反映する低磁場の帯磁率のみ採用することとした。

### 4. 測定結果

測定した結果は、図 2 に示す。中心に点のハッチ (・) でかかれているところが、せんだん帯である。

図 3 の a は NRM の磁化方位の結果である。図からわかるように、せんだん帯では、そのせんだん方向と同方向に、残留磁化も帯磁していることがわかる。また、せんだん帯の両側のブロックはまったく異なる方向に磁化していることがわかる。

図 3 の b は、今回一番重点をおいている保磁力の異方性率 (anisotropy factor 最大保磁力/最小保磁力) の図である。色分けしてあるのが異方性の大きさの分布である。ただし、せんだん帯の部分はめだたせるために無色になっているが、この部分の色は水色 (1.0 で最小) である。このことから、せんだん帯では異方性はむしろ見られなく、せんだん帯から数 cm はなれた部位で異方性が大きくなることが判明した。矢印は異方性の方向である。

図 3 の c は、b と比較するために提示した低磁場の帯磁率の異方性である。一般に AMS という、地質構造解析に使用される異方性は、これと同じものである。ただし、方位は b とほぼ同じ方向になったので、記入していない。斜線の部分は帯磁率が  $5.0 \times 10^{-5}$  SI より小さい帯磁率が低い部分を示す。この場合も b と同様に、せんだん帯の部分も斜線であるが、この部分は模様をいれていない。すなわち、せんだん帯に近い部分は帯磁率が低いという特徴がある。また、異方性も、せんだん帯の方が赤丸 (1.0) が多く、せんだん帯では帯磁率異方性がほとんどみられないことがわかる。このように、異方性については b の保磁力も c の低磁場の帯磁率も同様の特徴を示す。

図 3 の d は、保磁力の分布である。せんだん帯の部分では、色を抜いている。せんだん帯の部

分は水色で保磁力がもっとも小さい1-1.5mTにあたる。保磁力の分布の特徴は、せんだん帯では保磁力が大きくなることがあげられる。

## 5. 考察

図3から、本研究に用いたせんだん帯には、磁気特性の明確な特徴が観察された。

まず、図3のaに見られるように、NRMの方向が、せんだん帯の両側でくいちがうのは、キュリー点（この岩石の場合は磁性鉱物はほとんどTiに乏しい磁鉄鉱なので、580℃である）以下の温度でせんだん帯が形成されて、断層の両サイドがずれたことを意味している。このことは、最終高温時（700℃以上と考えられている）で変成作用を受けたあとに、低温で変形しているというIsikawa *et al.* (1994)の説に矛盾しない。また、せんだん帯の部分だけ、せんだん帯の方向に磁化しているのは、せんだん帯形成時には、せんだん帯の部分のみ摩擦で高温になり、かつせんだん力を受けていたためと思われる。

図3bの保磁力異方性の方向が、せんだん帯を境にして異なる理由も、上記のNRMの場合に似ている。すなわち、これらの異方性は、粒子配列の方向を示しており、これらの粒子配列は岩体が地下深部にある時の最終高温時までに形成された配列方向であると予想される。せんだん帯の両サイドでその方向がそろうものの、せんだん帯とそのごく周辺では、予想外に異方性が小さくなるのがわかる。このことは、後から受けたせんだん帯形成時の変形で、粒子が細粒化し、同時に粒子配列もリセットしてanisotropy factorが小さくなったと考えられる。このことはcの帯磁率の異方性からも裏付けられる。

図3dの保磁力の分布からは、せんだん帯で保磁力が大きくなっており、せんだん帯の形成時に粒度変化がおり、細粒化し、同時に磁性鉱物の変質がおこったことがわかる。

以上から結論すると、lundボークスヘッタでは、最終高温変成時のあとに、本研究対象のせんだん帯が形成され、その時には岩体の温度は580℃以上には上昇しなかったが、せんだん帯内部では580℃近辺まで温度が上昇したと予想される。また、せんだん帯形成時には、磁性鉱物の粒度変化や粒子の再配列が起きたが、その後は、高い熱変成がおこることはなかったと予想される。

## 6. まとめ

磁気特性や磁気特性の異方性を組み合わせることによって、温度履歴、変形履歴、双方を総合的に組み合わせ、せんだん帯の形成時期や岩石の変成時期の推定をおこなうことができる。

## 文献

Borradaile, MacKenzie, and Jensen (1990) Silicate versus trace mineral susceptibility in metamorphic rocks. *J. Geophys. Res.*, 95, 8447-8451.

- Borradaile and Alford (1987) Relationship between magnetic susceptibility and strain in laboratory experiments. *Tectonophysics*, 133, 121-135.
- Borradaile and Pummala (1989) Synthetic magnetic fabrics in a plasticene medium. *Geophysics*, 164, 73-78.
- Goldstein and Brown (1988) Magnetic susceptibility anisotropy of mylonites from the Brevard Zone, North Carolina. *Phys. Earth Planet. Int.*, 51, 290-300.
- Ishikawa, Motoyoshi, Fraster, and Kawasaki (1994) Structural evolution of runvaghsetta region, Lutzow-holm bay, east antarctica. *Proc. NIPR Symp. Antarcti. Geosci.*, 7, 69-89.
- Motoyoshi *et al.* (1993) Metamorphism of the Lutzow-Holm Complex revisited. 第13回南極地学シンポジウムプログラム, 講演要旨, 62-63, 国立極地研究所, 東京.
- Nakai, M. (1994) Anisotropy of magnetic hysteresis properties of audio-tape samples: its application for the magnetic anisotropy of gneissic rocks. *Proceedings of the NIPR Symposium on Antarctic Geosciences* · No.7 · 143-155.

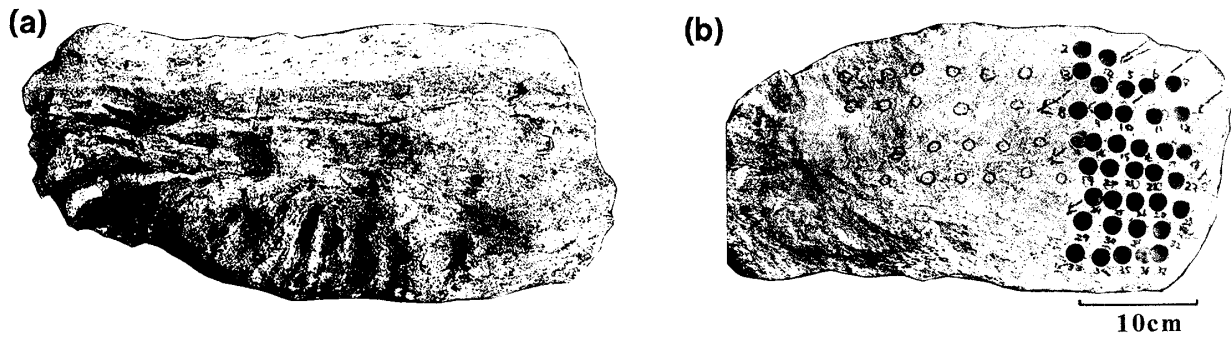


図1 試料の全体写真

- (a) 本研究にもちいたせんだん帯を含むザクロ石黒雲母片麻岩
- (b) 1 cm径のコアを抜いたあとの試料

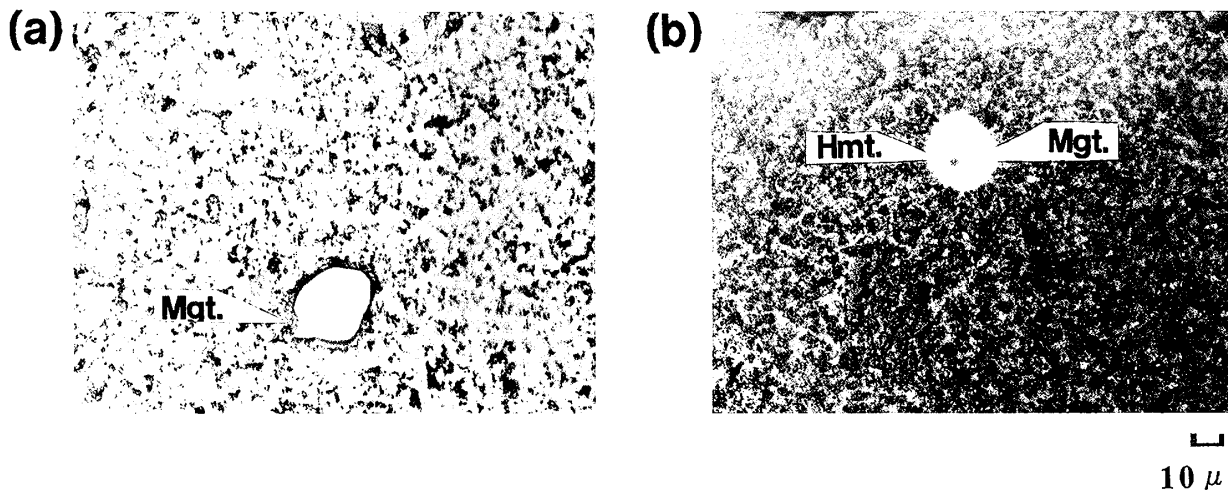


図2 研磨試料の反射顕微鏡写真

- (a) 試料の反射顕微鏡写真. Mgt. は磁鉄鉱
- (b) 試料の反射顕微鏡写真. Mgt. は磁鉄鉱, Hmt. は赤鉄鉱

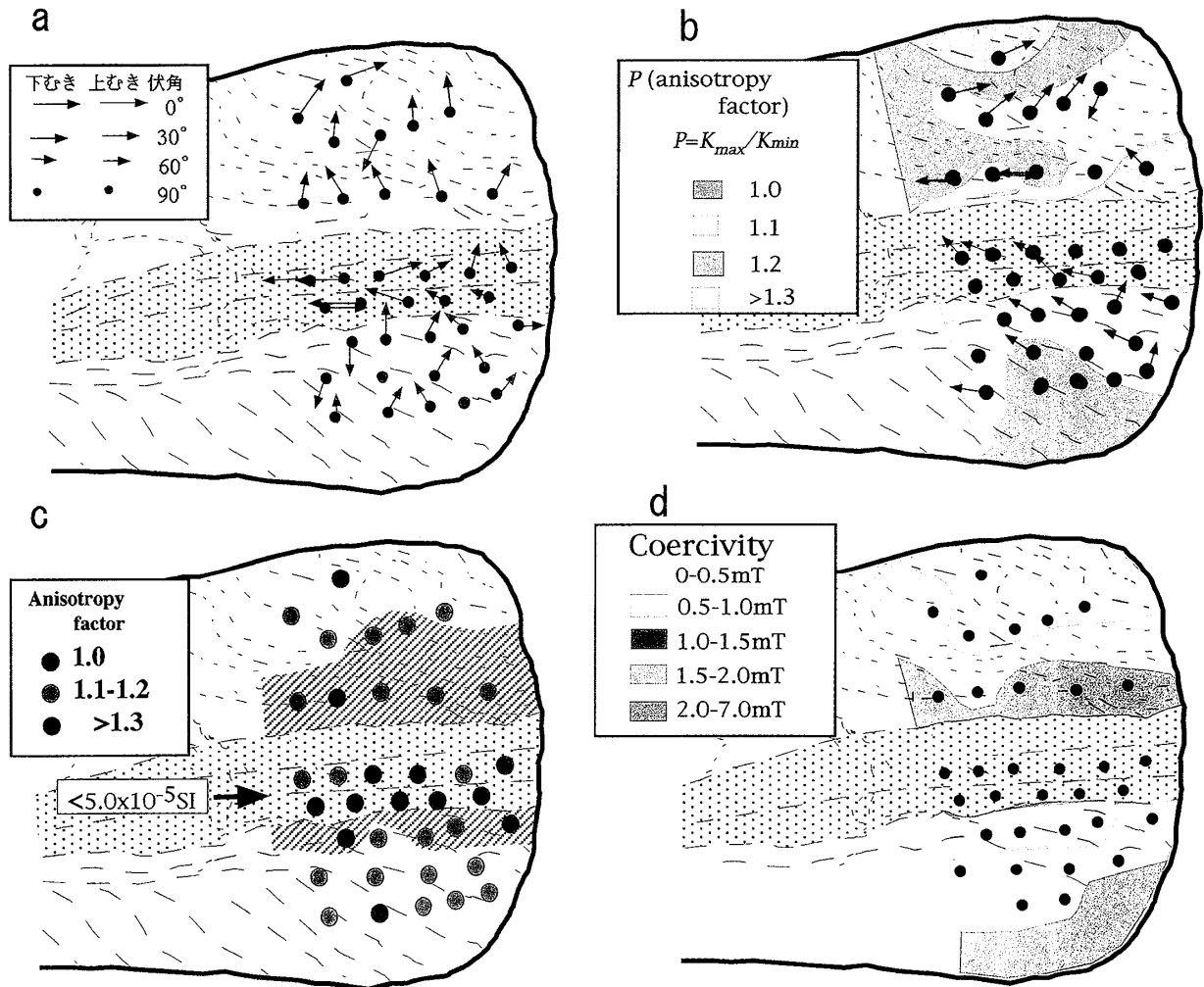


図3 古地磁気, 岩石磁気測定結果

- a : 自然残留磁化方位の水平ベクトル. 点のハッチの部位がせんだん帯
- b : 保磁力の異方性の anisotropy factor の分布. 矢印は異方性が卓越する方位の水平ベクトル. 点のハッチの部位がせんだん帯 (せんだん帯の部分の anisotropy factor の値は1.0で水色にあたる)
- c : 低磁場帯磁率の anisotropy factor の分布. 異方性が卓越する方向はbとほぼ同じ. 点のハッチの部位がせんだん帯. 斜線の部分は帯磁率が $5.0 \times 10^{-5} \text{SI}$ 以下の部分 (せんだん帯の部分も同じ)
- d : 保磁力値の分布. 点のハッチの部位がせんだん帯 (せんだん帯の部分の保磁力の値は1-1.5mTで黄緑色にあたる).