

フィールドで岩石の磁化方位を測る

荒井 経¹⁾・小野 晃司²⁾

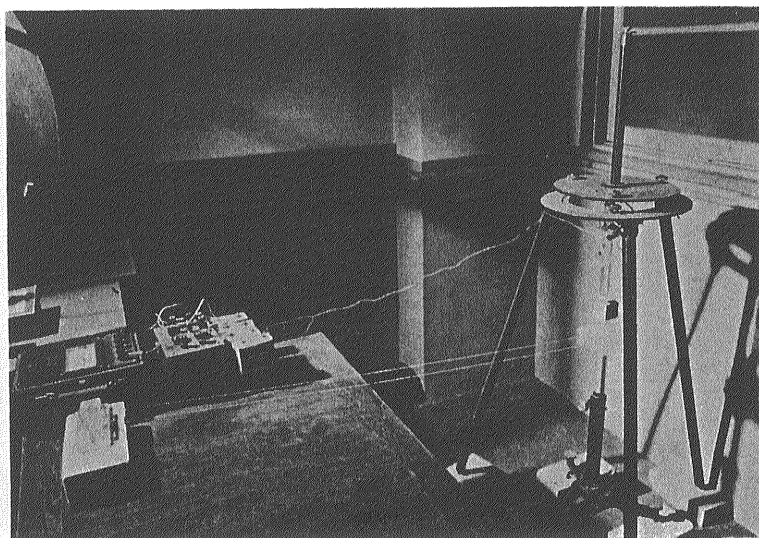
岩石が一般に弱い残留磁気をおびている。いかえると弱い永久磁石になっていることはよく知られている事実である。岩石の残留磁気は条件がよければ、その岩石ができたときの地球磁場の向きを保存している。地磁気の化石がそこに残されているといってもよい。そこで、岩石の磁性およびその残留磁気を調べることによって、過去の地球磁場のようすを研究するのが古地磁気学である。最近では、世界各地のあらゆる地質時代の岩石の残留磁気を調べて、それから地球磁極の移動とか大陸移動とかいった壮大な現象を論ずることもさかんである。

ところで、岩石が磁化しているといっても、通常の岩石の磁化は強いものではない。富士や大島の玄武岩溶岩のうちには、露頭にクリノメーターを近づけると、磁針がフレるくらいに残留磁気の強いものがある。火山岩は、岩石のなかでは一般に強い残留磁気をもっているのだが、これはそのなかでもとくに強い例なのである。落雷によって強い磁化を受けたものなどを除けば、普通の岩石では、クリノメーターを近づけたくらいでは、その磁化はわからない。この弱い残留磁気を測定する装置の一種に無定位磁力計がある。(第1図a)。略図(第1図b)を一見してわかるように、原理は簡単であって、棒の両端に強さの等しい磁石を反平行(平行で逆向き)に取り付けて、それを長い糸(ふつう細い鱗青銅線を使う)で吊ったものである。2個の磁石がたがいに

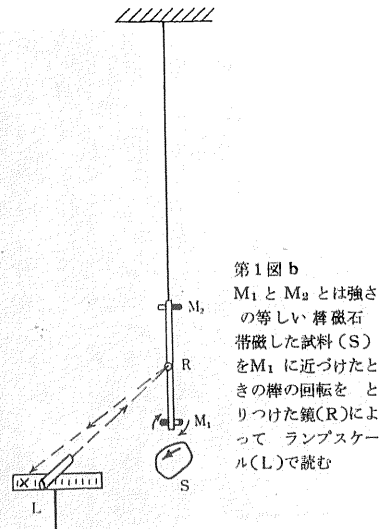
打消しあっているために、この棒全体としては地球磁場の影響をうけないことになり、またそのために近くの小さな磁場の変化に感じやすくなっている。そこで、棒の一端の磁石に、外から別の磁石を近づけてみる。もし棒がある程度以上長ければ、棒の他端の磁石はほとんど影響を受けないので、近づけられた2個の磁石の間に働いた引力(あるいは斥力)によって、吊された棒は回転する。回転の角度は吊す糸の長さ・剛性と双方の磁石の強さ・距離とによってきまるはずだから、一度この計器の特性を測っておけば、あとは測定しようとする試料を近づけたときに棒が回転した角度から、計算によって、試料のその方向での磁化の強さが求められる。試料を回転させながら各方向での磁化の強さを測定すれば、それから岩石の磁化方位を知ることができる。

野外用無定位磁力計

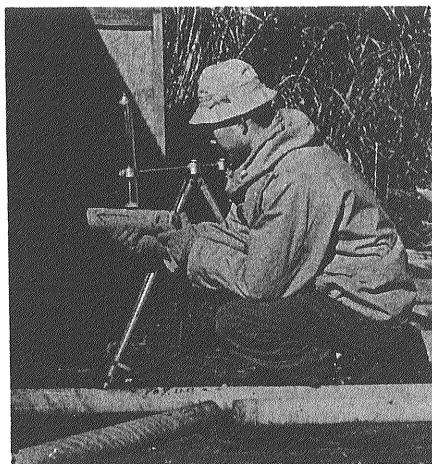
さて、野外から実験室まで岩石の試料を持ち帰らずに、現場で簡単に磁化方位が測れるような、1人で持ち歩ける測定器は作れないだろうか。荒井がこう考えて、第2図に示すものを作ったのが1962年5月だった。透明なアクリル樹脂の円筒中に磁石対の棒が吊ってあるだけで、測定部分は除いてしまった。カメラ用の三脚で円筒を支持させることにしたが、三脚の磁性の影響を避けるために、ジュラルミンの棒で離して吊ってある。この試作器ができると、小野は早速中部九州のフィールドで試用した。この簡単な測定器は最初からすばらしい偉力



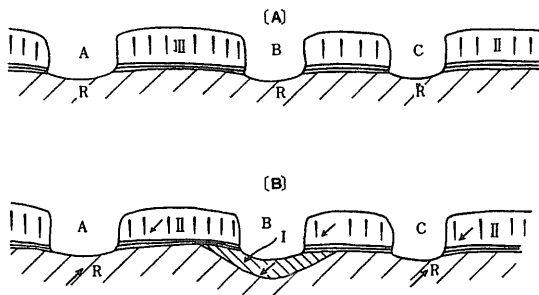
第1図a 無定位磁力計(物理探査部第4研究室)



第1図b
M₁とM₂とは強さの等しい棒磁石。帯磁した試料(S)をM₁に近づけたときの棒の回転をとリつけた鏡(R)によって、ランプスケール(L)で読む



第2図
野外用無定位磁力計
で試錐コアの磁化の
向きを測る 試錐コ
アでは磁化の水平方
向(偏角)はわからな
いので 垂直方向
(伏角)の正逆のみ
が測定される



第3図 A・B・C3地点の川底に露出する岩石は同じR岩層のつづきと
考えられていた(A) しかし Bは正 A・Cは逆に帯磁していること
から R岩層とII岩層とのあいだにI岩層が発見された

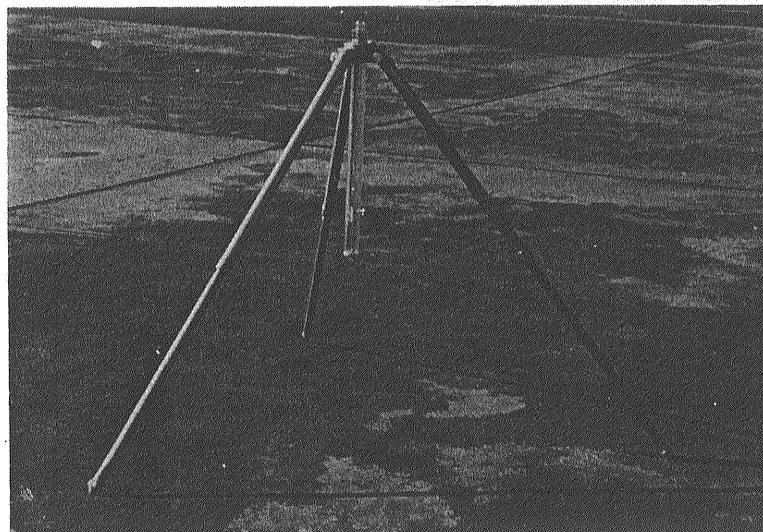
を發揮した。大分県竹田市付近に みかけのよく似た
溶結凝灰岩が数ヶ所に露出していた。これらは他の岩
層との層位的関係も同様なので 同一岩体のつづきと考
えられていたのだが その磁化方位が正・逆の2群に分
かれることが判明したのである(第3図)。そこで付近
の詳しい地質調査を行なった結果 磁化方位が正のもの
と逆のものとは それぞれが別々の岩体であることがわ
かり 双方が上下に重なっている露頭も発見された。

くすることにとめたので 全体で900g(35mm1眼レ
フカメラ位)の重量にとどめることができた。現場の
試用では 径数cmの軽石にも感じて動き じゅうぶん
に実用性があることが確かめられた(この野外用磁力計
については 別に報告されるはずである*)

[注]* 和田義一郎・青木市太郎(1965):野外用無定位磁力計
の試作 地質調査所月報(掲載予定)

ところで 第5図にみるように この装置には測定
の目盛りがない。磁石の回転の向きと角度とを肉眼で
見るだけである。だから これではオモチャではないか
こんなものが役に立つだろうかという疑問をもつ人も多
かったようである。しかし すぐわかることだが 量
的な測定のためには 試料を一定の形に整え それを一
定の位置にセットして観測しなければならない。その
ためには 試料のための岩石用カッター(またはドリル)
と試料の支持台 それに観測装置とが必要である。

つまり これを野外で行なうのは実験室の移動であ
って 自動車にでも積めば この装備をすることができる



第4図 地質調査所で試作した野外用無定位磁力計



第5図 野外で軽石の磁化の向きを測る

が1人の 普通の地質調査 の際の備品としては大げさすぎる。ではこの 定量的でない磁力計 は役に立たないものかを 改めて検討しよう。

感度については 磁化の強さが 10^{-3} — 10^{-4} emu/g 程度の岩石ならば 普通にハンマーでとる大きさの試料(拳大ぐらい)にじゅうぶんに感ずる。ふつう磁化の強さは 玄武岩・安山岩では 10^{-2} — 10^{-4} 流紋岩では 10^{-3} — 10^{-5} emu/g 程度なので 大部分の火山岩は測定可能である。磁石のフレの程度によって 試料の磁化の強さが おおよそ 10^{-2} 位か 10^{-4} 位かなど 桁数の推定はできる。

磁化方位を知るためには まず試料を露頭から採取するとき その表面に方位(たとえば水平面と南北方向など)を記録する。測定の際には試料を手で保持しながら回転して 磁石のフレが最大になる方向をみる。同様の操作を直交する3つの回転軸について行なえばよいわけで 肉眼でも半径30度の立体角に入る位には測定できる* 少なくとも 水平面内で北向きか南向きか 垂直面内で下向きか上向きかは 容易にわかることである。

[注]* 東京大学杉村新氏のご教示によれば 現場にステレオ網紙を用意して投影すれば より正確に求めることができるとのことである。

火 碎 流 の 温 度

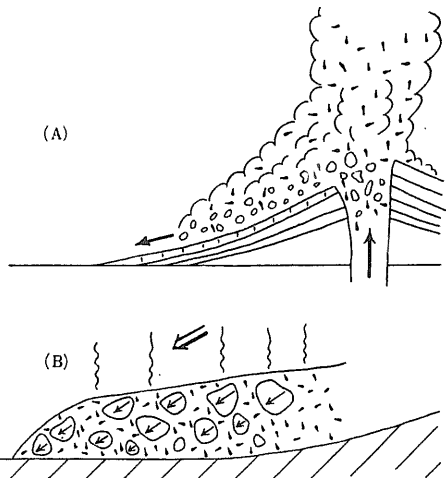
この程度の性能があると どんな目的に使えるだろうか。岩石の磁化方位を測定することは おおよそ2つの目的に分けることができる。その岩石が磁化したときの地球磁場の向き・強さなど過去の磁場の状態を知ること(一般の古地磁気学)と とくに火山岩について 岩体がその場で静止したときの温度についての情報を得

ることとである。

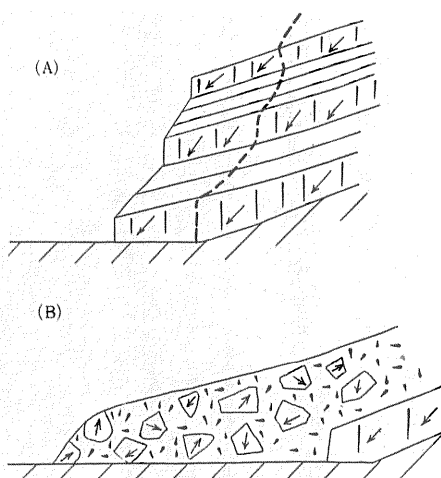
まず後者からさきに分れることにして その前に簡単に火山岩の磁化について説明しよう。火山岩が帯磁しているのは ふつう熱残留磁気によるものである。岩石は鉱物の集合体なので 岩石の磁性とは 実はその岩石中に含まれている強磁性鉱物の磁性にほかならない。

火山岩に普通に含まれる強磁性鉱物は磁鉄鉱類(磁鉄鉱—チタン鉄鉱—赤鉄鉱間の広い成分範囲があり 成分によってその磁性はことなる)である。さて 強磁性鉱物の強い磁性は それを加熱すると次第に減って ある温度でなくなる。強磁性のきえる温度をその鉱物のキュリー点またはキュリー温度という。岩石を その岩石中の強磁性鉱物のキュリー点よりも高い温度まで加熱しておいて 弱い磁場の中で冷却させると かけられた磁場の方向に強い磁化が生じ そのまま固定される(その向きの永久磁石ができる)。この現象を熱残留磁気というのだが 一たんできた熱残留磁気はたいへん安定なものなので 過去の地球磁場の中で冷却した火山岩は そのときの磁場の向きを磁気の化石として保存しているわけである。

岩体の温度を知る問題にたちかえろう。ここに火砕流堆積物があって 無数の火山岩塊が火山灰の基地にうまっているとする。もし その火砕流が現在みる状態におちついたとき それらの岩塊が高温であって その中の強磁性鉱物のキュリー点よりも高い温度であれば それから冷却してキュリー点を通過して常温に達するまでに そのときの地球磁場の向きにしたがって どの岩塊も同じ向きにそろって帯磁するはずである(第6図)。一方これとは別に すでに冷却固結して 一樣な方向に安定した磁化をもった溶岩流などの岩体があったとして



第6図
火砕流の噴火がおきる(A)
静止したときは まだキュリー
点よりも高い温度である 冷
却するあいだに 各岩塊は地球
磁場の向き(大きい矢印)に帯
磁する(B)



第7図
安定に帯磁している溶岩と火
砕岩の互層からなる火山体が
山崩れをおこす(A) おち
ついた堆積物の中の各岩塊の
磁化の向きはばらばらであ
る(B)

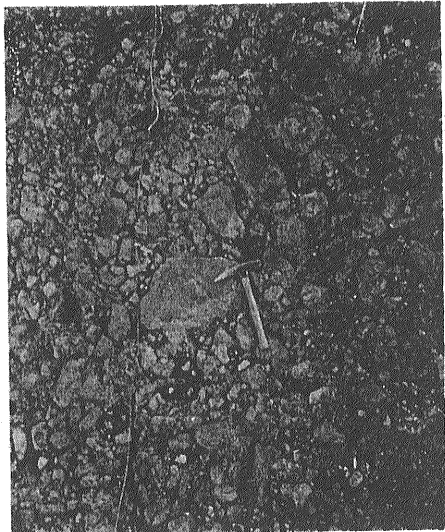
それが崩壊して山崩れ堆積物ができたでしょう。火山灰の基地に火山岩塊が散乱していて みかけはさきの火砕流堆積物とよく似ているかもしれない。しかし その中のそれぞれの岩塊は 今の場所におちついたときは崩壊する前とは関係のない勝手な方向を向いているはずだから その岩塊を何個かとりだして磁化の向きを測定すれば それらの方向はちらばって一定の向きには集中しないであろう(第7図)。だから 各岩塊の磁化の向きが集中するか散乱するかで その岩石が現状におちついたときの温度が 含まれる強磁性鉱物のキュリー点(純粋の磁鉄鉱ならば 578°C)よりも高いか低いかで判定される*。火山砕屑物が堆積したときの温度を知ることが 火山地質学の上で大切な問題であるが これを現場で判別することができれば 火山地質家にとっては有力な1つの武器といえよう。

[注]* 大部分の熱残留磁化のできるのは キュリー点以下の比較的せまい温度範囲だから キュリー点より高いかそれに近いものと キュリー点よりずっと低いものとの判別ができるといった方が正確である

逆 向 きの 磁 化

岩体全体の磁化方位についてはどうだろうか。極移動や大陸移動など古い地質時代にまでさかのぼるものここでは一応考慮から外しておく。日本に広く分布する新第三紀以降の火山岩について 岩体ごとに すなわち各溶岩流・火砕流あるいは貫入岩体ごとに その磁化方位が正・逆いずれであるかを知るだけでも現状では意

↓ 第8図 阿蘇Ⅲ火砕流の表面非溶結部 この露頭は火砕流堆積物としては 軽石塊が火山灰の基地に比べて異常に濃集しているので二次的堆積物かと思われた しかしこの中の10数個の軽石塊の磁化方向は全部揃って北下向き(正)に集中した これはこの堆積物が 現状におちついたときは「熱かった」ことを意味している (大分県大南町 竹中付近)



味がある。

ときには それだけで岩体識別の有効な手段になることもある。ここで これまでことわりなしに使ってきた“正”“逆”の意味に簡単にふれておこう。日本に限らず世界中について 第三紀(とくに漸新世)以降の岩石の磁化方位を測ってみると その約半数はその産地での地球磁場の向きにほぼ平行に帯磁し 残りはそれとほぼ反対の向き(反平行)に磁化していることが知られている。地球磁場の向きをみるために 磁針の重心を糸で吊ったとする。日本(北半球)ではそのN極はほぼ北を指し そして水平面より下に向うはずである。約半数の岩石はほぼこの向きに帯磁し 残りの岩石は(磁石のN極が)南を指し 上を向いていることになる。

そこで 現在の地球磁場の向きにほぼ平行のものを正反平行のものを逆とよぶわけであるが そのいずれにも当たらない場合はまれである(極移動などが議論されるもっと古い地質時代の岩石を測定しても 極性が逆向きの対になっていることは同様であって この対の方向が現在の地球磁場の向きからずれてくるのである)。

この逆向きの帯磁(逆転残留磁化)はどうしてできたのだろうか。逆帯磁の火山岩が冷却したときは 地球磁場はいまど逆の向きを向いていたのだろうか。1952年 東京大学地球物理学教室の永田研究室では 榛名火山産の軽石を調べている間に その軽石がかけられた磁場と逆向きに熱残留磁化を生ずる(自己反転)ことを発見した。研究の結果 これがその軽石中のある成分のチタン赤鉄鉱の性質によることがわかった。では それまでに発見されていた逆帯磁の岩石は みな同様に自己反転によるものだったのだろうか。しかし 検討の結果 はほとんど否であった。少なくとも自己反転現象を室内で示したものはほとんどなかった。逆に 野外の産状から地球磁場そのものの逆転によると考えた方が考えやすい例も出てきた。現在では 自己反転はかなり特殊な例であるらしく 少なくとも地球の歴史のある時期には地球の磁場が逆向きになっていたと考える人が多い。地球磁場の逆転は汎世界的な現象だから これは世界的に有効な時代対比の手段にちがいない。“地磁気の化石”という言葉がここでさらに生きてくるわけである。

ところが 地球磁場の歴史についてのわれわれの知識はまだまだ不足であって 磁化の向きから直ちに地質時代を決めることはできない。これまでの知識は地磁気の歴史的变化のうちから とびとびに断片を拾い上げたものに過ぎないかも知れないからである。まず地磁気の年代表を作ることが先決である。実をいうと 古地

磁気学的な議論の材料となるためには その試料岩石が安定に過去の磁化を保存しているか(保存のよい化石であるか)を検討するために厳密な実験が必要であり それにはかなりの労力を要するのである。日本は激しい地殻変動の歴史と変成作用のために 中生代以前の古地磁気学のためには決して条件のよいフィールドとはいえない。しかし一方新第三紀以降については この野外用磁力計で測定できる火山岩が全国各地に分布しているのである。だから 無方針に研究するよりも もし正・逆の判定が現場で容易につけられるものなら まず各地の岩体の正・逆を片端から識別して行なったらどうだろう。その間に 磁極の変動のおきた時期 あるいはそのときの経過(方向・強さの変化など) もし周期的におきたとすればその間隔 また自己反転あるいは不安定磁化など 古地磁気学上重要な問題を解くのに適当なフィールドが発見されるだろう。これに平行して 高精度のK-Ar法年代測定の技術が確立されれば それを組み合わせると 正確な古地磁気編年を作り上げることができるであろう(現在アメリカではすでにK-Ar法測年の進歩とともに この方面の研究が精力的に行なわれているようである)。

以上のような理由で 1人で気軽に持ち歩ける無定位磁力計は 野外火山地質学にも 古地磁気学にも とくに新生代火山岩地域の研究者には有用な道具だと考える。ハンマー・クリノメーターと同様に “有用” というよりも “必携” の道具になるために さらにコンパクトなものを作れたらよいと筆者たちは考えている。

最後に 岩体の磁化方位についてこれまでに得られた結果の一部を挙げておく。

A 正のもの

阿蘇カルデラ火砕流Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ(熊本・大分県)
九重火山久住軽石流(大分県竹田市)
阿多カルデラ火砕流(鹿児島県生見海岸)
阿蘇カルデラ壁に露出する鮮新—更新世火山岩類(妻子が鼻—二重峠間・高森峠・清水峠などの安山岩溶岩 妻子が鼻の流紋岩溶岩)
三宅山流紋岩溶結凝灰岩(中新一鮮新世 大分県竹田市)

B 逆のもの

今市火砕流(鮮新—更新世 大分県竹田市・直入町)
代三五山安山岩溶岩(中新一鮮新世 大分県大野町)
川俣流紋岩溶結凝灰岩(中新世 栃木県川俣)

C 帯磁が弱く 方位が測定できなかったもの

大辻山流紋岩溶結凝灰岩(中新一鮮新世 大分県大野町)

以上の紹介では 野外用磁力計に関係して 古地磁気学のうちでは むしろ狭く 特殊な分野にふれたのみである。また説明を簡略にするために 厳密さを欠いているところもかなりある。岩石磁気 古地磁気学については 以下のようなすぐれた啓蒙書 総説があるので それを読んでいただきたい。

参考文献

- 秋本 俊一(1959):地質時代における地磁気 —とくに極移動説・大陸漂移説への寄与— 科学 29巻3号 115—122頁
秋本 俊一・庄野 安彦(1962):古地磁気学と古気候学 科学 32巻2号 73—80頁
竹内 均・上田 誠也(1964):地球の科学 252頁 NHKブックス

[筆者 1) 東京大学理学部地球物理学教室 2) 地質部 図幅第二課]



第9図
今市火砕流(右下側)の侵蝕面をおおう 阿蘇Ⅲ火砕流(右上から左下)ここではどちらも強く溶結している 今市火砕流は負に 阿蘇Ⅲ火砕流は正に帯磁している。(大分県竹田市付近)