

# カッティングの磁性測定について

齋藤 友三郎

## まえがき

ボーリングによって地下の地質を調べる場合、素掘りよりコア掘りが好ましいことはいうまでもないが、掘さく費が大幅に増加するため、石油・天然ガスを対象にした井戸では、一般に素掘りを行ない、掘さく中のカッティング—泥水とともにあがってくる掘屑の岩質、有孔虫などを調べ、また各種の物理検層を行なって、その欠を補う方法がとられている。

昭和37年、埼玉県下に掘さくされた層序試錐、春日部GS-1は、わが国における大型試錐の契機をつくったものといわれているが、およそ3,100mの深度まで掘進し、この間、約100mおきにコアを採取している。

層序試錐は、その後も関東、東北、裏日本の平野部に年1～2坑の掘さくをつづけ、また昭和42年度からは石油開発公団によって基礎試錐が行なわれるようになったため、この種、大型試錐の数はすでに13坑にも達している(表1と図1参照)。

なお掘さく深度は、年とともに増加し、基礎試錐下五十嵐(43年5月)では、ついに5,000mを超えるまでに発展した。しかしその反面、急カーブに上昇する掘さく費を節約するために、コアの採取間隔も次第に拡大され、最近では500mを基準とするようになっている。

ところでコアの磁性測定は、春日部GS-1よりも2年遅れ、昭和39年からこれをとりあげるようになった。コアについて、すでに行なわれていた各種物理・化学試験の一環として、またそのころから本格的に作業をはじめた、空中磁気探査の基礎資料をえるために行なったものである。

平原下の地層を構成する岩石の磁性については、周辺の地表岩石からもある程度は推定できる。しかし造岩磁性鉱物の種類、含有量などのわずかな違いによって、その値は大幅に変化するため、やはり実測の手数を省くことはできない。またおなじような理由から、採取間隔のあらい、コア試料だけでは十分な資料がえられないことも当然である。そこで、採取間隔が250mに広げられた層序試錐蒲原GS-2を機会に、これまでのコアと平行し、カッティングについても、磁性測定をはじめることにした。



図1 層序試錐、基礎試錐の分布  
 黒マルは層序試錐  
 白マルは基礎試錐を表わす

表1 昭和37～42年の層序試錐・基礎試錐一覧

年度	坑井種別	坑井名	県名	開坑年月日	掘止年月日	掘止深度	坑底地層名	備考
37	層序試錐	春日部GS-1	埼玉	37. 5. 14	37. 8. 20	3,103.0	南蛇井層	
38	"	藤岡GS-1	群馬	38. 5. 23	38. 9. 3	3,004.0	吉井層	
38	"	蒲原GS-1	新潟	38. 7. 15	38. 9. 10	3,703.1	椎谷層	
39	"	大佐和GS-1	千葉	39. 6. 1	39. 7. 9	2,552.0	保田層	
39	"	能代GS-1	秋田	39. 8. 5	39. 11. 25	3,514.4	女川層	
40	"	蒲原GS-2	新潟	40. 8. 5	40. 10. 28	4,207.0	椎谷層	
41	"	遊佐GS-1	山形	41. 9. 10	41. 11. 16	3,267.0	青沢層	
42	基礎試錐	大淵	新潟	42. 10. 14	43. 5. 23	4,920.0	七谷層	
42	"	下五十嵐	新潟	43. 2. 7	43. 5. 10	5,006.7	椎谷層	
42	"	西目沖	秋田	42. 8. 18	42. 9. 27	2,448.4	船川層	

基礎試錐は石油開発公団が行なったもの。

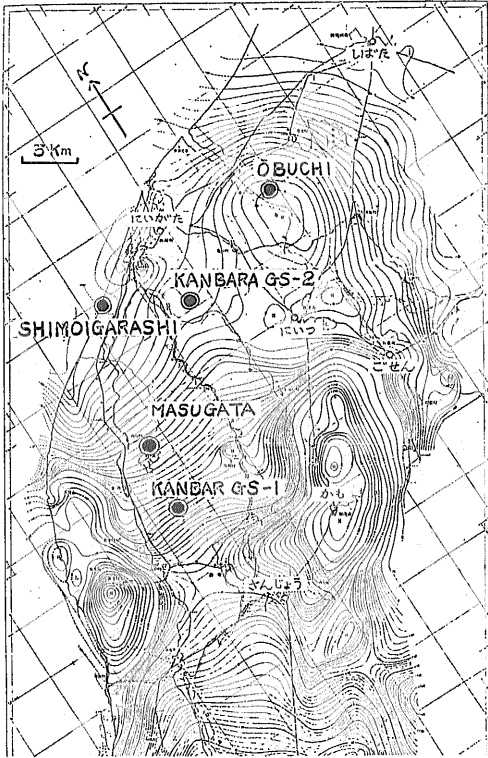
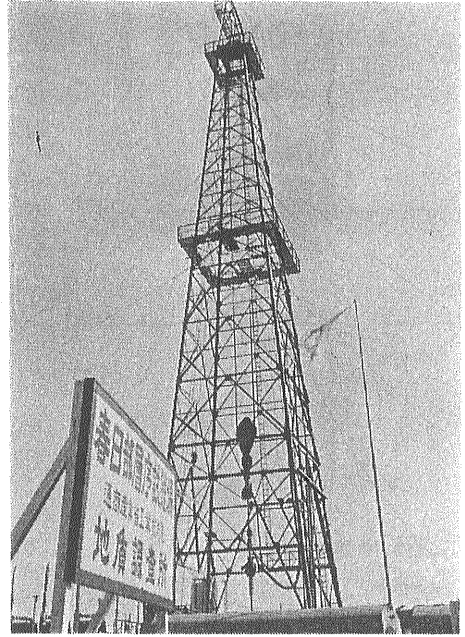


図2 新潟県下の層序試錐 基礎試錐の分布とノーマル・フィールドを補正した越後平野中南部空中磁気図(部分)

**試料の採取とその前処理**

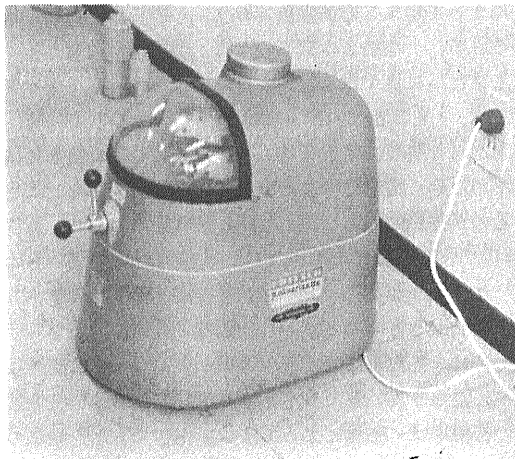
カッティング採取の要点は つとめて原岩に近い試料をえることである。そのため 泥水による汚れは注意深く洗いおとし なるべく大粒のものを採るようにしている。しかし不均質な岩相 細かな互層 軟弱な地層などからくるカッティングでは 原岩との違いがかなり大きいものと予想される。また坑底からあがってくる過程で 試料が攪拌され 混合されることによって生ず



春日部層序試錐

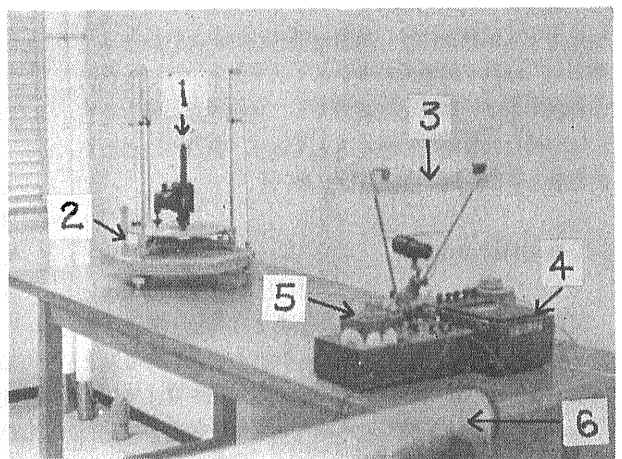
る違いも避けられない。しかしながら カッティングを利用する場合は 掘さく作業を休めないで 連続的に試料が採れるという ほかの方法にはない大きな長所をそなえているわけである。

つぎに試料の前処理については いまのところ測定は比帯磁率に限られているため これに必要なおよそ35ccの粉末試料を調製することである。すなわち現地から送られてきた試料は かなりの水分を含むものであるから まず日光または赤外線ランプの光にあて 比較的低い温度で乾燥したのち 四分法によって必要量を採りだす。カッティング試料のなかには まれに掘さく機の破片を含むことがあるから 小型磁石によって一応は



実験用 万能粉砕機

西独 Alfred Kretsch 社製 pulverisette 2型 試料の硬度に応じ粉砕圧を調節できる タイムスイッチを備えた 高性能の自動粉砕機である



帯磁率測定器

- 1. 弾動検流計 2. 除震台 3. ランプスケール 4. 電流計
- 5. コントロールボックス 6. フィールドコイル サーチコイル

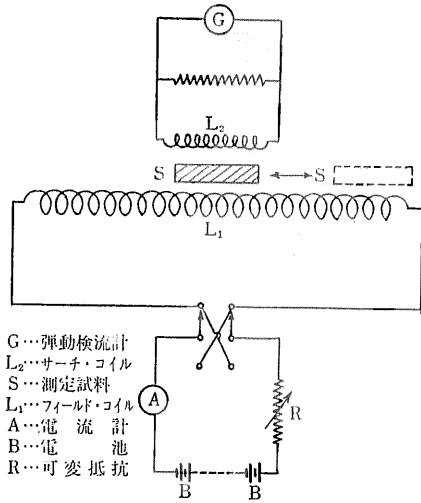


図3 帯磁率測定器の原理図

その有無を確かめる。なお粉碎機はめのう・ジッターコイル・磁器など非磁性の乳鉢を使用し 40メッシュ以下の粒度に粉碎する。

### 測定器と測定方法

物質の帯磁率を測定する器械には 非常に多くの型のもが知られているが これらは外部から加える磁場の種類によって 直流磁場と交流磁場 あるいは均一磁場と不均一磁場によるものに大別することができる。今回使用した器械は“弾動法”とよぶ 直流の均一磁場を利用したものであって 比較的に磁性の強い物質を弱磁場で測定するのに適している。その測定原理は<sup>1)</sup> 図3に示すように 1次(フィールド)コイル(L<sub>1</sub>)によって磁化された試料(S)が 2次(サーチ)コイル(L<sub>2</sub>)のなかから急に引き抜くか または挿入したときに L<sub>2</sub>に生ずる誘導電圧を 弾動検流計(G)のふれによって測定し 試料の帯磁率を求めるものである。いま試料の帯磁率を κ 切口の断面積を s 外部磁場の強さを H L<sub>2</sub>の切口の有効断面積を A とすれば 試料が L<sub>2</sub>のなかにあるときの L<sub>2</sub>内部の磁束 φ<sub>s</sub> は

$$\phi_s = AH + 4\pi\kappa Hs \quad (1)$$

つぎに試料を引き抜き L<sub>2</sub>からある程度以上離れた位置におかれたときの磁束 φ<sub>r</sub>は 試料の影響がほとんど無視できるようになるため (1)式の右辺第1項に等しくなる。したがって試料の移動にともなう磁束の変化 4φ は

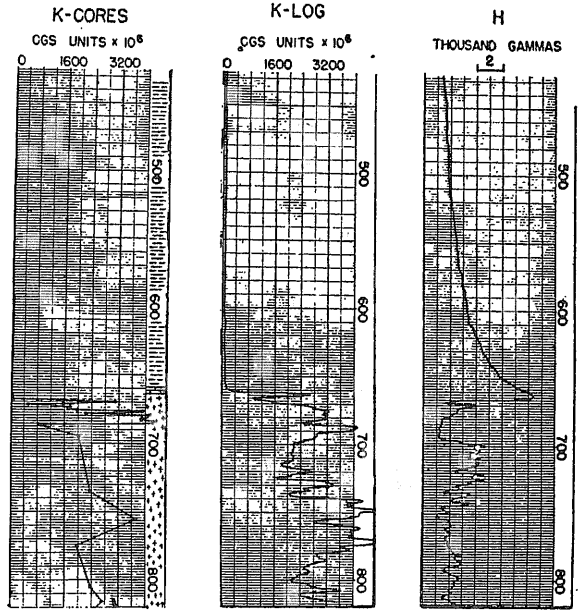


図4 帯磁率・全磁力の柱状図

中央のK-LOGは交流型帯磁率検層機の記録 右側のHは別に試作した抗井用飽和鉄芯型磁力計の記録 左側のK-CORESは比較のためにコア(1部はカッティング)の帯磁率を測定した結果を示す

$$4\phi = \phi_s - \phi_r \approx 4\pi\kappa Hs \quad (2)$$

L<sub>2</sub>に生ずる誘導電圧は 4φ に比例し また弾動検流計のふれ θ はその電圧に比例するから

$$\theta = C \cdot 4\pi\kappa Hs$$

$$\therefore \kappa = \frac{\theta}{C \cdot 4\pi Hs} \quad (3)$$

ここでCは L<sub>2</sub>の総巻数・電気抵抗・検流計の特性などによって定まる器械常数であり 一般には実験的に求められる。なおSは試料の寸法 つまり常数であり HもまたL<sub>1</sub>に流す電流値から計算できる。したがって (3)式は θ を測定すれば κ が求まることを示している。

ところで岩石の帯磁率は のちに感応磁気値を見積るためにも 地球磁場またはこれに近い 弱磁場で測定するのが理想的である。しかし堆積岩のように 通常 κ = 10<sup>-6</sup> ~ 10<sup>-4</sup> emu/cm<sup>3</sup> という 非常に磁性の弱いものを このような条件—0.5 Oe前後の直流磁場で測定するのは容易なことではない。今回は 測定の精度をあげるために 外部磁場は 100~150Oe という 地球磁場に比べ かなり高い値で測定している。なお造岩磁性鉱物の帯磁率は 磁場によって多少変化し また弾動法の測定には限度のあることが知られている。したがって

今後は ほかの方法による測定も検討してみる必要がある。 1例として交流法の場合 磁場は交流の変動磁場であり電気伝導度の影響 周波数特性などにも いくぶん問題はあるが 1Oe 前後の実効磁場で  $10^{-6}$ emu/cm<sup>3</sup> 付近の値を高精度に測定できる利点をそなえている。

測定結果とその問題点

ボーリング・コアの磁性 とくに帯磁率については 油田地帯の磁気探査に関連して かなり古くから測定が

行なわれ その例も決して少なくない。 なかでもマグノリヤ石油会社の R. A. Broding らは<sup>2)</sup> 10数年前に 帯磁率 電気伝導度を同時に測定できる検層機を試作し これを石油の井戸に応用して 図4に示すような 興味深い結果をえている。 しかしながら カuttingの場合には 非常に例が少ないので ここでは今回の測定結果によって 問題点を探ってみることにする。

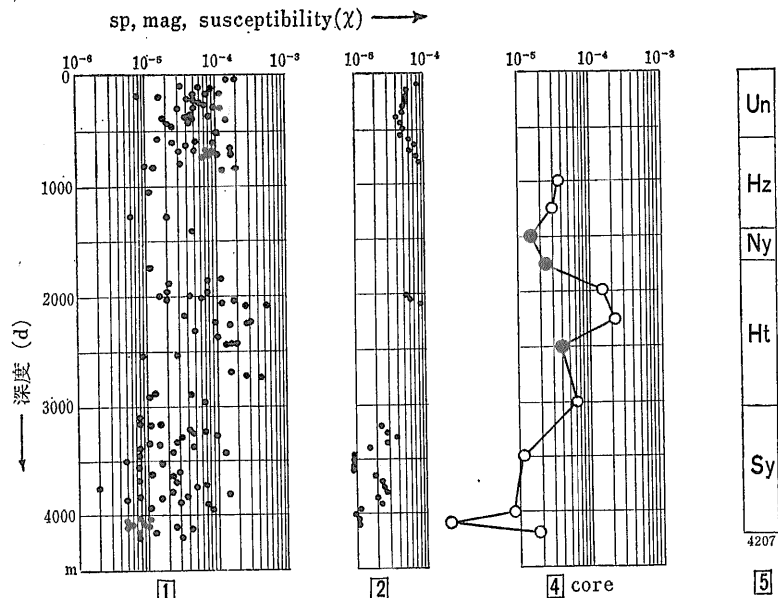


図5 蒲原GS-2 試料の測定結果

測定値のバラツキ

Cuttingの測定結果にみられる 特長の第1にあげられるものに 予想以上に大きい “値のバラツキ” がある。 すなわち 図5~7は 蒲原GS-2 遊佐GS-1 大淵の測定結果を示すが これらの図の左端 ①は いずれも縦軸には 試料の採取深度(d) 横軸には 比帯磁率(χ)の測定値を対数尺でおとしたものである。 バラツキの大きい点は 3坑の結果に共通しており またわずか 10~20mしか離れない上下の試料間で 10倍以上に値が変化する例も 決してまれではないことを示している。

その原因としては 岩相変化

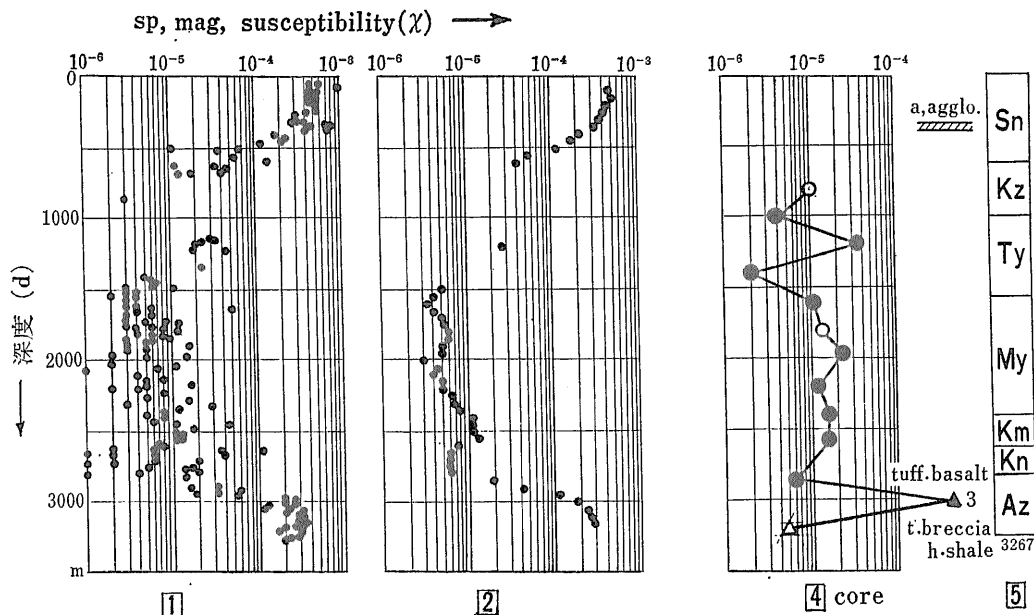


図6 遊佐GS-1 試料の測定結果

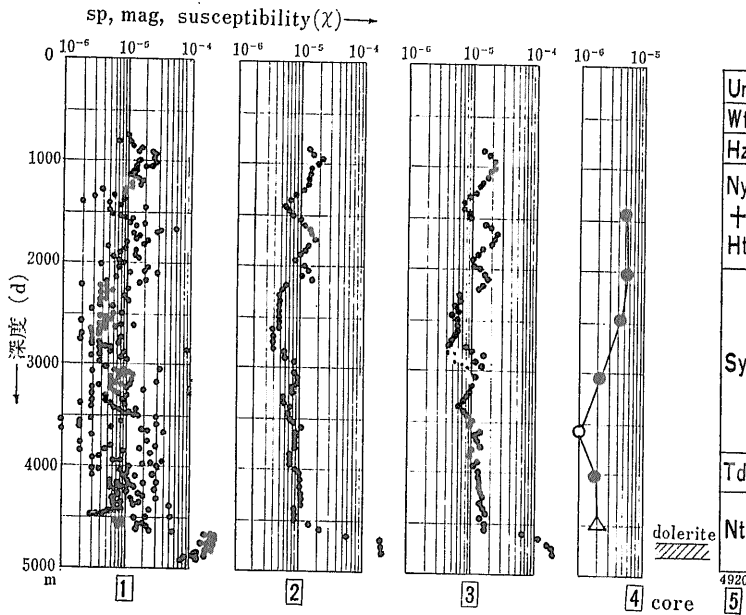


図7 大淵試料の測定結果

測定精度 採取状態など いくつかの要素が考えられるが 今回使用した器械の測定精度は およそ  $2 \times 10^{-6}$  emu/g であること 途中の攪拌によるカッティングと原岩との違いは むしろ値を平均するようにはたらくことなどから パラツキの主因は やはり岩相変化にあるように考える。なおパラツキの度合いは 遊佐GS-1や大淵の結果にみられるように 採取深度—地層によって いくぶん違いを生じていることが認められる。将来 電算機を使用し くわしいデータ処理が行なわれるようになれば 分散値の垂直分布から 逆に岩相変化を量的に表わす一手法を見出す可能性があり 注目される。

### 測定値の平滑化

原資料は 値のパラツキ(ノイズ)が大きく 堆積岩のような磁性の弱い地層のなかでは ほとんどその変化を読みとることができない。

このような弱い情報(シグナル)をとりだす一手段として 今回は中位数と平均値を求める 最も簡単な2種類の平滑化をこころみた。柱状図の図③がその結果であり ともに計算の深度区間は 200m 移動距離は 50mにしている。实例は いまのところ3個にすぎないが 示徴の識別—おおまかな傾向を知るうえで 非常に効果があることを示している。たとえば図7 大淵の場合 原資料 ①から識別できるものは わずかに抗底付近に分布する 粗粒玄武岩の示徴だけである。これに対して②と③の場合は そのほかに堆積層内の磁性の

変化—西山層と浜忠層は比較的に 磁性の変化が大きいこと 全般的にみて 磁性の最も弱い部分は 椎谷層であることなどが読みとれる。もちろん平滑化にもいくつかの問題があり その1つとして 境界面の移動があげられる。大淵の粗粒玄武岩(深度4,650m) 遊佐GS-1の玄武岩(深度2,900m)などの境界でみられる 上限深度の移動(深度区間の半分)はこの例である。また当然のことながら 平滑化は薄層の示徴を失なう欠点があり その好例は遊佐GS-1の集塊岩(深度350m付近 厚さ40m)の示徴にあらわれている。

なおデータ処理に関連して カッティング試料の採取は 無作為に等間隔で行なうことがのぞまれる。不規則なサンプリング—マバラな測定資料は あとの計算処理ができないため 蒲原GS-2の大半 遊佐GS-1の1部にみられるように 結果に空白を生じ 情報価値を著しく減ずることになる。

### 偽りの示徴

図5~7に例示した カッティングの測定結果と地層の真の帯磁率分布との間には ときにより かなりのくい違いを生ずることが予想される。

これは主として原岩との違い つまり岩相の不均質 固結の不完全 泥水の循環などの原因によって 原岩とは異なった試料を採取することによるもので カッティングを扱う以上 これは避けられない。たとえば遊佐GS-1の最上位 庄内層群の場合は 一部を除いて 固結の不十分な砂 礫 粘土などで構成されている。粘土・細砂などの微~細粒成分は泥水とともに洗いおとされ ほとんど礫だけを採取し しかもその礫は近くの鳥海火山から供給されたものであるため この層群の測定結果は 火山岩と区別できない 高い帯磁率を示すことになる。

平滑化にともなう偽りの示徴も 結果の識別を誤まる可能性があり 注意を要するものである。この例は大淵試料の移動平均の結果によくあらわれている。すなわち図7 ③における深度2,700~3,000mの“もりあがり”は 異常に高い値の試料(深度2,860m)が1個加わったことにより生じたものである。この試料を除

いて計算したものは点(小)で示すように 中位数の計算結果図によく一致した傾向をたどる。

### 磁気探査への応用

磁気異常発生の根源になる岩体—磁気基盤をさぐることはボーリング試料の磁性を測定する目的の第1にあげられるものである。

1例として基礎試錐大淵はもともと空中磁気探査で発見された大規模な磁気異常(図2参照)の実体をするために石油開発公団によって掘さくされた深井戸である。結果は4,920mの深度まで掘進し坑底付近(4,651m)において厚さ約230mの粗粒玄武岩のシートを確認している。

一方空中磁気探査の解析結果(陶山淳治 1963)によれば<sup>3)</sup>この異常に対応する岩体モデルとして intrabasement を仮定した場合深度は4,500m 帯磁率は $2 \times 10^{-3} \text{emu/cm}^3$  という解があたえられている。ボーリングで確認された深度との間に約150mの違いはあるが誤差はわずかに3%であり非常によく一致した結果といえよう。つぎに岩体の帯磁率については磁気異常の解析から求まる値—見掛けの帯磁率( $\sigma'$ )は岩石の感応磁気( $J_i$ )とともに自然残留磁気( $J_r$ )の影響を加味したものであるから

$$\sigma' = (J_i + J_r) / H = \sigma(1 + Q_n) = \sigma \cdot \sigma(1 + Q_n)$$

ここで $\sigma$ は岩石の密度  $Q_n$ はKönigsberger係数とよぶ  $J_r / J_i$ の値である。

カッティングの試料ではこれらの値とくに  $J_r$ は測定が困難であるから $\sigma$ と $Q_n$ は角田・弥彦山塊の七谷階玄武岩3個の平均値  $x$ は大淵カッティングの実測値をもちい試算すれば

$$\begin{aligned} \sigma' &= 2.5 \times 10^{-4} \times 2.63 \times (1 + 1.5) \\ &\approx 1.6 \times 10^{-3} \text{emu/cm}^3 \end{aligned}$$

解析結果に比べいくぶん低い値をとるが岩石磁性の変化の幅を考えれば両者の結果はよく一致したものとみることができる。

### 地層対比への応用

カッティングの磁性測定は磁気探査への応用を目的として出発したが地層対比の面でも将来はかなりの発展が期待される。いまのところわが国では“磁気検層”は行なわれていないが東北裏日本油田地帯の地層内には磁性による対比をたすける火山岩

火山性堆積岩をはさむことが比較的によく検討の余地が残されている。

遊佐GS-1の青沢階玄武岩大淵の七谷階粗粒玄武岩などのような磁性の強い火山岩体を追跡することはきわめて容易である。また堆積岩については一般に磁性が弱く磁気基盤になる機会は少ないがその値は広範囲に変化するため対比に利用できる場合も考えられる。この例として蒲原GS-2中央部の磁性の“もりあがり”は一応浜忠階の砂岩層に相当しコアの磁性を測定した結果によれば約4.5km南方の蒲原GS-1までこれを追跡することができる。蒲原GS-1ではカッティングを採取していないので基礎試錐下五十嵐と升瀉の試料によってこれを検討してみる予定である。

### むすび

採取間隔のあらいコアだけでは十分な結果がえられない場合に掘さく中連続的に試料が採取できるカッティングを利用する問題を検討してみた。

カッティングの試料では泥水の循環にともなう原岩とのくい違い小形試料のため自然残留磁気は測定できないなどの避けられない欠点がある反面採取間隔を細かくした場合はほとんど検層図に近い詳しい情報がえられるという大きな長所をそなえている。

いまのところは3例にすぎないが今後は組織的に多くの資料を収集し空中磁気探査の解析に利用するほか地層対比への応用さらには大量処理に適した測定器測定結果の効果的な処理法などについても検討してみたい。

### 謝辞

試料の収集から結果のとりまとめにいたる今回の試験にあたっては各方面から多大の援助をたまわった。石油開発公団からは基礎試錐大淵の貴重な試料が提供され結果の発表を許可していただいた。試料の採取については石油開発公団(事)帝国石油(株)の関係者をわざわざ磁性測定の実際は宇部興産(株)の関係者がうけもたれた。なお本所の石和田研究企画官陶山技術開発課長からはつねに懇切な指導・助言をいただいている。ここで本紙面を借り以上の各位に対して厚く感謝の意を表する。  
(筆者は 物理探査部)

### 参考文献

- 1) T. Nagata: Rock-Magnetism, Maruzen, 1953.
- 2) R. A. Broding, C. W. Zimmerman, E. V. Somers, E. S. Wilhelm & A.A. Stripling: Magnetie Well Logging, Geophysics, 17, 1, 1—21, 1952.
- 3) 陶山淳治: 空中磁気探査について 石油技協誌 33, 3, 189—196, 1968.