

第6図  
TVフィルター処理の例

フィルターをデジタル処理の過程で適用した例が第6図である。この図の右端がフィルターを施す前までの処理結果の記録であり、これに5コの異なる幅のフィルターを施したそれぞれの結果がその左の5つの記録であり、このテストに基づいて最終的にTVフィルターを施した結果が左端の記録である。このようにして、浅い反射、深い反射それぞれの特性を活かした結果が得られる。

### 6. まとめ

現在われわれが行なっている若干のデジタル処理の例について説明した。この他にも、資料編集や整形さらには多成分のフィルターなどのデジタル処理があり、アナログでもプロット・重合・レーザー स्क্যানなどの処理が行なわれる。

これらの資料処理のうちでも今後特に着目すべきものは速度解析であろう。前にも記したように、現在の処理方法で各層までの平均速度がかなり詳しく得られる。この平均速度分布から各層のそれぞれの地層速度分布はすぐに得られる。この地層速度分布を着目地域内の各地点毎に求めれば、その地域内の特定地層についての速度分布図も得られる筈である。しかし、このためには反射記録自体が明確なものでなければならず、速度解析処理や他の資料処理も高度なものを必要とする。これらのことは、現在でも個々の反射が明瞭に得られる地域では可能であり、今後の技術の進展につれ、地層速度分布図からその地層内の砂岩—頁岩比の算定、さらには石油埋蔵量の推定を下す一連の処理方法が一般化することも遠い夢ではないと思われる。

(筆者は石油開発公社事業本部物理探鉱部)

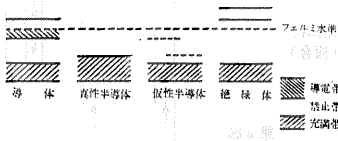
## 岩石の電気的性質

武居由之

物質の電気的性質には機械的性質(力学性)、熱学的性質、光学性、放射性、磁性、電気性などがあるが、筆

者は岩石の電気的性質について若干記すことになった。

岩石の力学的性質については、岩石物性研究の主題となつていろいろの角度から研究が続けられている。岩石の熱学的性質は最近著しく研究され、地球熱学という分野も生れている。岩石の光学性研究は岩石の顕微鏡観察などを通じて岩石研究上必須のものであったことは周知の通りである。岩石の放射性は放射性の存在が知られて未だ一世紀を経っていないが、急速に研究され、地史学において決定的な役割を果たすに至っている。磁性は古代より鉱物が保有することを認められていた。今日では探鉱、地史研究に著しい貢献をするに至った。岩



第1図 固体物質の電導性

第1表 岩石・鉱物の比抵抗 (物理探鉱11巻4号)

玄武岩	$2 \times 10^4$	硬石膏	$10^8 \sim 10^5$	方鉛鉱	$3 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-1}$
輝緑岩	$2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$	粘板岩	$4 \times 10^2 \sim 10^3$	黄鉄鉱	$6 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$
閃緑岩	$5 \times 10^4$	石灰岩	$6 \times 10^2 \sim 5 \times 10^5$	黄銅鉱	$1.5 \times 10^{-4} \sim 3.5 \times 10^{-1}$
片麻岩	$2 \times 10^2 \sim 4 \times 10^4$	岩塩	$3 \times 10^2 \sim 10^5$	磁鉄鉱	$6 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^0$
花崗岩	$3 \times 10^2 \sim 10^4$	砂岩	$3 \times 10^2 \sim 10^5$	黒鉛	$8 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-2}$
珪岩	$10^2 \sim 2 \times 10^5$	頁岩	$0.8 \sim 10^4$	石油	$10^{12}$
結晶片岩	$2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$	砂	$1 \sim 5 \times 10^3$	石炭	$1 \sim 2 \times 10^5$
大理石	$10^2 \sim 10^5$	粘土	$0.8 \sim 10^8$	淡水	$10 \sim 10^2$

単位  $\Omega \cdot m$

石の電気的性質についても物質固有の普遍的性質としてかなりの意義を有するべきものである。ひるがえって電気 (Electricity) の語源を繙いてみるとギリシア語の  $\eta \lambda \epsilon \chi \tau \rho \omega \nu$  「こはく」から由来していることがわかる。

古人は紀元前6世紀頃すでに「こはく」が静電気を帯びて相引くことを発見した。鉱物のもつ電気性に注目していたといえるのである。現今岩石の電気性が社会に活用されている分野をあげると

1. 電気探査： 地下資源の探鉱、地下構造の探査で物理探査法の一つとして用いられている。
2. 電気検層： 試錐孔あるいは坑井を掘った場合に孔内で測定して地下探査を行なう。石油の採掘には電気検層法による含油層の評価が行なわれている。
3. 選鉱： 選鉱法の一つに静電選鉱法がある。誘電選別機、電気摘出機で鉱石と脈石とを選別する。
4. 採炭： 石炭の地下ガス化は未だ実用化していないが地下で石炭層に着火させる方法として石炭の電導性を利用した電気着火法が考えられている。

一方逆に大地の電気的性質が一種の公害を生じている例には、送電線、電気鉄道の周囲で誘導障害が起きること、地下の埋設管が帰かん電流のため次第に溶融されてゆくことなどである。岩石の電気的性質として認められる事象には次のものがある。

1. 電導性
2. 誘電性
3. 電気化学性

熱電気性、焦電気性、圧電気性は電気石、水晶などの鉱物にみられる特性であるが、これら鉱物が集合して岩石を構成した場合にも特徴づけられる性質となっていない。電気探鉱法のうち比抵抗法は上記の1を、自然電位法は3を応用したものであり、最近電気探鉱界で多く使われているI.P法 (誘導分極法) は1、2を複合して低周波での電気性を利用したものである。

鉱物が集合して岩石を構成するが、集合のしかた、集合の状態はさまざまであるから、鉱物の電気性が直ちに岩石の電気性にはならない。岩石の電気性研究の目標

および必要性もこれらの点にある。

まず鉱物を構成する物質の電気性から説明すると次のようになる。物質を流体と固体に分ける。流体ではイオンが流動することにより電気伝導が起こる。一方固体では電導性の差から導体、半導体、絶縁体 (誘電体) に分けられる。導体では電気伝導は電子の伝導による。構成する原子同士は金属結合をしている。半導体では電子の移動と正孔の移動による伝導が行なわれる。絶縁体では分極が行なわれるが、伝導までに至らない。

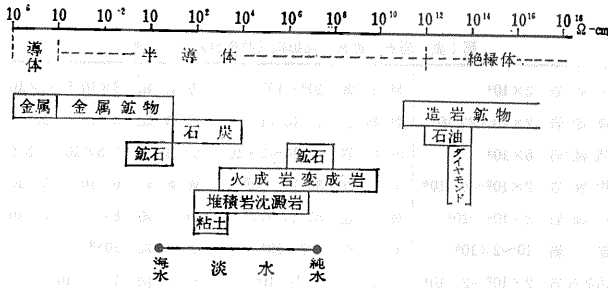
物理学ではこれらの差異を図のように説明されている。すなわち原子の中の電子のエネルギー状態がバンドの形をとり、導体ではフェルミ水準に近いバンドの一部 (導電帯) を電子が満たしている。誘電体では電子のエネルギー水準は充満帯にあり、導電帯には全くない状態である。半導体には導電帯と充満帯の間がせまく (禁止帯) エネルギーが得られると導電帯へ上り電気伝導が起こりうるもの (真性半導体) と、不純物のため禁止帯のなかに、もう一つのエネルギー準位が考えられるもの (仮性半導体) がある。

金属元素は原子内を自由電子が運動でき比抵抗は  $10^{-4} \sim 10^{-6} \Omega \cdot cm$  である。造岩鉱物はほとんど絶縁体になっていて  $10^{12} \Omega \cdot cm$  以上の比抵抗をもつ。有機物の絶縁体も多くある。半導体は  $10^{-3} \sim 10^{12} \Omega \cdot cm$  の広い範囲のものを含む。硫化鉱物、酸化鉱物などは半導体である。石炭は芳香族の有機半導体とみられる。色と比抵抗と関連性があり、有色鉱物より透明鉱物の方が比抵抗が高い。

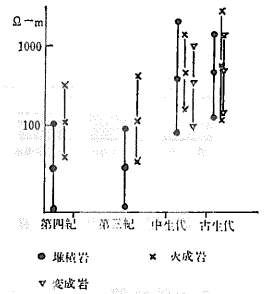
このことは自由電子や高エネルギー水準の電子が光子の進行を妨げるため不透明になると説明されている。

流体では正負イオンの動きによって電流が流れるからイオン、溶存イオンが多いほど伝導がよい。しかし多すぎると逆に流動が悪くなるから、濃度だけでなく易動度も関連する。

岩石の中に電導に係りある固体系と流体系を考える。流体の系として水溶液を考えてみる。水自身の比抵抗



第2図  
岩石と鉱物の比抵抗  
(諸家の表より複合)



第3図  
日本の大地導電率  
(電気学会 電子通信学会)

は  $2.6 \times 10^5 \Omega\text{-m}$  で抵抗は高いが 容易に塩類を溶解しごく低い比抵抗に下っている。物質の電導性は温度依存性が強く 導体では温度に比例し 半導体 絶縁体では温度の逆数の指数関数になっている。

さて物質が集って構成される鉱物の比抵抗は第2図のように幅が広い。金属鉱物は低い側にある。およそ  $10^{-4} \sim 1 \Omega\text{-cm}$  の範囲内にある。鉱物中の金属の含有成分に わずかでも過剰があると比抵抗が著しく低くなる。一部に比較的高いものがある。たとえば辰砂 閃亜鉛鉱 輝安鉱 赤鉄鉱などである。主要造岩鉱物はいずれも抵抗が高く  $10^{10} \Omega\text{-m}$  以上である。硫黄もよく結晶したものはきわめて高い抵抗を有する。これらの鉱物は絶縁体に入るが 電気絶縁材料 誘電材料として雲母 水晶などが直接使用されている。石油は炭化水素の流体であるがきわめて抵抗が高い 絶縁物に入っている。石炭は有機化合物であるが 炭化の初期の段階では低抵抗で 石炭化が進行するに伴って抵抗が高くなり さらに進むと低抵抗となる。これは揮発物の脱出によると考えられる。粘土では粘土鉱物自身は抵抗が高いが 水を含むと著しく低抵抗となる。水は前記のように純水ではきわめて抵抗が高く コールラウスが蒸留を28回繰り返して確認した値が  $2.3 \times 10^5 \Omega\text{-m}$  である。地球上の水の大部分を占める海水は 3.5% の含有物を溶存しているから  $0.2 \sim 0.3 \Omega\text{-m}$  の比抵抗である。陸水は海水と純水の間の中間の値をもっている。降水し大地に透入して流動するにしたがい 次第に地中の物質を溶解させ あるいは汚染されて比抵抗が下げられてゆく。地下水調査で水比抵抗値から地下水の流動傾向を推定することができる。温泉水 油田鹹水はきわめて多量の溶解成分を含み 低い抵抗を持っているが  $10^{-2} \Omega\text{-m}$  以下には至らない。

岩石では 火成岩は珪酸塩化合物の結晶作用により生成し 造岩鉱物の粒子と粒子が分子と分子の引力により完全に接合した形になるから ほとんど絶縁性の物体と

なる。もし電導できるとすれば孔隙など一次的開口の表面や 表面に付着した水分を通じて行なわれる場合である。変成岩では原岩が動力変成または熱変成をうけて構成鉱物を再配列再結晶される。物理化学的には安定な鉱物に変成することは全体的に非電導性 高抵抗の方向へ移ることになる。火成岩 変成岩ともに高抵抗であって 野外測定では  $10^2 \sim 10^7 \Omega\text{-m}$  の範囲内にある。

堆積岩では生成過程の差異により碎屑岩と化学的堆積岩と有機的堆積岩でおおの異なり その構成 続成度により差異を生ずる。石灰岩 ドロマイト チャート 岩塩などは火成岩に劣らず高い比抵抗を持っている。粘土シルトより構成される泥質岩 頁岩は  $1 \sim 10^3 \Omega\text{-m}$  の範囲で種々の値をとる。一般に碎屑岩では原岩の組成 粒度の分布 膠結作用 圧密作用 組織などが複雑に効めを与えるが 岩体の容積の大部分を占める鉱物粒子は絶縁性のものが多く 導電は粒子の表面あるいは粒子間の空隙を充たしている溶液を通じて行なわれる。続成作用が徐々に行なわれて 堆積岩の比抵抗は古い岩石ほど高くなる。しかし一方風化作用も岩石生成後 露頭面 不整合面で行なわれる。風化作用は物理的には熱 水 風などにより岩石と分解させ 化学的には水解作用を伴って岩石を変質させる。どちらも当然比抵抗を低下させるものと考えられ 電気探査において低抵抗部は風化帯と解釈している。

大部分の岩石は いくらかの電気的異方性をもっている。微視的には岩石を構成する粒子の伸長方向によって 抵抗の差があるが 巨視的には抵抗値の異なった薄層から成立しているときに方向による差異が存在する。層方向に沿った抵抗を  $\rho_l$  層面を横切る方向の抵抗を  $\rho_{tr}$  とし  $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_{tr}}{\rho_l}}$  を巨視的異方係数と呼んでいる。頁岩で  $\lambda = 1.02 \sim 1.15$  粘板岩で  $1.10 \sim 2.25$  石炭で  $1.73 \sim 2.55$  となっている。

岩石の比抵抗には岩石の含有する水分の影響がきわめて大きい 岩石の比抵抗を  $R$  含有する水の比抵抗を  $R_w$  とすると  $R = F \cdot R_w$  となり  $F$  は電気的な元をも

たない数となるが このFを地層係数と呼んでいる。  
このFは孔隙率 飽和率 膠結指数の関数となっている。

岩石の比抵抗と温度との関係も同様に含有する水分の抵抗が温度によっていかに変化するかにかかっている。温度の上昇とともに比抵抗は低下する。逆に岩石を冷却して含有水分を凍結させると比抵抗が数十倍から数百倍に上ることをネステロフが確認している。一方高温では(100℃以上)含有水分は排出され岩石を構成する鉱物自身が電導にあずかるようになる。その時の電導率は

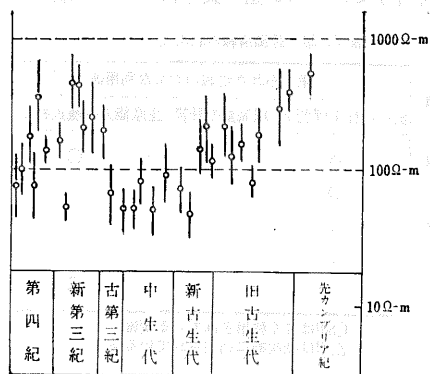
$$\sigma_t = \sigma_0 e^{-\frac{A}{T}}$$

で表わされる。ここで  $\sigma_t$  は絶対温度  $T^\circ$  での電導度  $A \cdot \sigma_0$  は定数。  $A$  は活性エネルギーに関する量である。地殻深部の電気的性質を研究する段階では岩石の高温での測定とともに高压下の測定が必要となってくる。ヒューズは高温高压下でカンラン岩の比抵抗が1キロバ一当り2~4%づつ増すことを実験で得ている。

岩石の生成した地質時代と岩石の地域的な比抵抗値の関係を見ると古い時代の地層ほど比抵抗が高いといえる。このことは国鉄 各電力会社で全国各地の大地導電率分布を測定した結果が一昨年まとめられ電気学会、電子通信学会から公表されている。英 ソ 米でも同じ測定がなされている。古い地層ほど続成作用を多くうけて高抵抗となることが首肯されるのであるがもし造山運動をうけると沈積した岩石は外因的営力を受けて比抵抗が低下するかあるいは極端に増加することが生ずる。米国では統計的にみて中生代岩石が新生代岩石より比抵抗が低く 中西部では分布に変化が多いことからこう解釈できる。

### 岩石の比抵抗の測定について

物体の比抵抗を  $\rho$  長さを  $l$  断面積を  $s$  とすると両



第4図 米国の堆積岩比抵抗(米国標準局)

断面間の抵抗値Rは

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

となる。単位は  $\Omega$  (Ohm) である。比抵抗は

$$\rho = R \frac{s}{l}$$

で求められ 比抵抗の単位は  $l$  と  $s$  をメートルでとれば  $\Omega \cdot m$  となる。

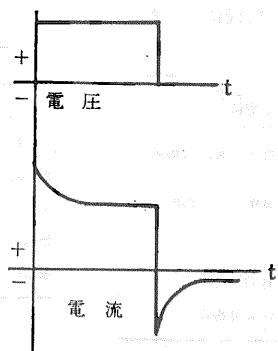
測定には2極法または4極法を用いるが 最も注意を要するのは 極板と試料の極面との接触であって水銀 導電箔 導電塗料 粘土などの材料が使われる。また測定計器には入力抵抗の大きなものを使用する必要がある。高抵抗物質では測定電流が加わった瞬間に吸収電流が流れ 次第に減衰して漏洩電流の一定値となる。筆者は通電1分後に測ることにしている。

導体と誘電体の違いは先に記したが 電気的にみれば電場がかかったとき導体 半導体には伝導電流が流れ その比伝導度を測って逆数の比抵抗で表わす。誘電体では電場がかかったとき分極が生ずるので 分極しうる容量を測って 誘電率で示すことになる。誘電率は物質の比容量と真空の比容量の比で表わされる。故に誘電率は周波数によることが大きい。高周波では分極が電子の分極による 中間周波ではイオン分極 分子分極による低周波では界面分極によるものである。高周波での誘電率は光学での屈折率の二乗に相当する。岩石 鉱物の誘電率は5~15の間が大部分である。水の誘電率は80できわめて大きいから 岩石が水分を含んでいると誘電率は大きくなる。

岩石の電気的性質としておもに比抵抗のことを記した。誘電率も重要な要素であるが未だ応用と測定資料が乏しいので多くふれなかった。アポロ11号で採集した月面岩石も世界5人の科学者により比抵抗 誘電率 誘電損失が測られている(名大 熊沢峯夫氏もその一員である)。電気探査法を実施してその結果を解釈するとき 岩石と比抵抗の関係を正確に知っておく必要があるが 諸家の

記載している岩石比抵抗値を引用すると 食い違いがあって解釈を困難にすることがままある。その因は測定方法の相異 測定条件の相異 対象岩石の相異にあり 測定の絶対数もまだ少ない。所せん視覚的な岩石分類に対し 非感覚的な電気的測定値を相似させることは容易ではない。これら基本的な問題は今後の研究に残されているといえよう。

(筆者は 物理探査部)



第5図 高抵抗物に電圧がかかったとき電流の応答