

# 地下地質学への招待

古宇田 亮 — (鉱床部)

Ryoichi KOUDA

## 1. はじめに

道端の斜面の岩石や 山奥の沢道に露われる地層を調べることが地質学事始めであろう。近年は陸上だけでなく海もよく調べられている。さらに 大空にはばたく人工衛星を使うリモート・センシングや 地下深所を直接探るボーリングを使う地下地質学も加わっている。

## 2. 資源探査とボーリング

技術の発達で毎年何百本もボーリングが地下を穿ち何十カ所も人工地震による地殻内部探査がなされるようになった。その結果 地下の様子が詳しくわかってくる。例えば 洋上の船から音波を海底に放出し 反射音をコンピューター処理にかける方法がある。東から日本列島に向けて押し寄せてくる太平洋プレート(海洋地殻)が 私たちの住む大地のはるか下にもぐり込む様子が鮮明に映し出される。このおかげで プレート・テクトニクスは随分私たちの身近に感じられている。

また 地下数 km に及ぶ長いボーリングが 資源や地震予知などのために掘られている。このボーリングの孔井を利用して 岩石の密度や含水率・応力状態・温度・電気的磁気的特性などが計測され 検層と呼ばれている(図1参照)。岩石そのものも採集され 室内で詳しく調べられる。

このように直接・間接に地下状態を知ることは 例えば資源探査の効率化につながり リスクや経費の節減が大いに期待できる。その中でもボーリングによる方法は膨大な予算がある。しかし モノが直接目に見える形で手に入り易いので資源探査上不可欠であるばかりでなく 地質学的にも熱い眼差しをあびている。

## 3. 流通系

石油や天然ガス・地熱は流体の形で地下に蓄えられている資源である。流体のため検層解析が威力を発揮する。石炭や重金属(ウラン・金・銀・銅など) 非金属(石灰石・粘土・ゼオライトなど)は固体なので 岩石に準じた扱いが必要である。

このような地下資源はどんなところに存在するのだろうか。流体資源は岩石に流体が入りこんでいる場所である。固体資源は 一見コチコチの固体ばかりしかな

いところのように思われるかもしれない。鉱山での抗内出水・出ガス事故などを想起すればわかるように 固体資源も少量ながら水などの流体が存在する場所に埋もれている。では 流体は地下岩石のどんなところにあるのだろうか。

まず 岩石にはひび割れが発達することが多いから 割れ目の中にたまっていると考えられる。実は岩石の中の微細な鉱物粒の間にもほんの少し空隙があって そこにも流体がたまる。このような流体の存在する場を空隙とか孔隙(pore)と総称している。岩石全体に占める空隙の量 つまり流体の量を孔隙率(porosity)というパラメーターで表わす。石油や天然ガスは 地下の孔隙に閉じ込められ 孔隙率の大きいほど大量の生産を上げることができる。また孔隙が流体の流動に対してより開放的ならそれだけ鉱床の回収率も高められるだろう。岩石中の流体の流動し易さを透水率(permeability)というパラメーターで示す。透水率は岩石の特性である。地熱探査には 更に温度パラメーターがいる。

重金属資源を見つける為に地球化学探査が行われる。地球化学探査は重金属鉱床の一部が溶解して外に拡散してできた結果を捕えようとする。また鉱床生成時に鉱液が周辺岩石に及ぼしたさまざまなイタズラをつかまえて 埋もれた資源を見つけ出そうとする。鉱床そのものが固体でも 生成時の機構や生成後の環境に果たす水の役割が大きい。そのため岩石を通過する流体と通過の機構に対する深い理解を得ることにより 鉱床発見の糸口となる現象を説明できる。

このように地下地質学は岩石に加えて岩石の含む流体と孔隙を研究することが重要である。流体が通過する岩石などの地質系を流通系と呼ぶ。流通とは岩石中の孔隙を通過する流体の移動のことである。流通系の岩石(固体)は流れを規制する固定物のふるまいをする。これに対して地質学的な流動系は マグマ(固体と液体の混合液)の流れや 固体のレオロジー的流れ・マントル対流なども含んでいる。固体もまた流動する。これを流動系と呼んで流通系と区別する。流動系(mobile material)も流通系(porous material)も岩石を主とする地質系である。流通系が一味違うのは 孔隙も主対象になっているせいである。逆に流体から見れば どちら

も流体の移動 (fluid flow) つまり流動に他ならない。地下水の流れを流動系と呼ぶか流通系と呼ぶかは 水に重点を置か岩石と孔隙に重点を置くかの違いにすぎない。流通系は岩石を一時的固定系としてそこを流体が通過するという意味での固体—流体系なのである。

#### 4. 流通系からみた地下地質学

地表地質学的知見やリモート・センシング情報は 地表の現象とそこからの類推か 又は室内実験との対応を見るものであった。流通系から説明される地下地質学は ボーリングによる実証を含めて 様子がかなり異なってくる。何が違うのだろうか。

地下に埋没した岩石は「何か」によって荷重が支えられる。岩石を構成する鉱物粒子の接点は「何か」の主なものである。鉱物粒の間隙や岩石のひび割れに存在する流体も静水圧力で荷重を支える。つまり重力の影響と対応が違いの一つである。次に 孔隙に存在する流体 (水など) は孔隙の大きさに応じて流動特性が異なる。水分子の大きさが孔隙に比較してほぼ一定なので孔隙が小さいほど水は通過しにくい。大きな粒径の堆積物は大きな孔隙を持ち 小さな粒径の堆積物は小さな孔隙をもち易い。そこで砂岩より泥岩が水を通しにくいといった違いを生ずる。孔隙の形やそのつらなりはさらに大きな違いを生み出しているのである。また 水

平方方向の応力場によるひずみもあり 地下深いほど温度が高くなるとか 岩石は不均質な物体であるとかも違いを生んでいる。

こうして流通系は天然の場でいくつかの珍現象・奇現象を示す。それは室内的思考だけでは想像もつかないものである。たとえば異常高圧現象をとり上げよう。泥質物が深く埋没すると 中の流体が異常に高い圧力を持ってしまう。ボーリング作業中に異常高圧層まで掘り下がると危険が多いため慎重に掘り進めねばならない。普通 砂や礫は地下に埋没すると荷重のために体積が減少し水をはき出す。これを圧密と呼ぶ。泥質物はもともと孔隙率が高く 圧密で指数曲線的に体積減少をおこすが 流体は粗粒堆積物と同様に排出されるわけではなく 一定の深さで異常高圧をもつ。この理由として粘土表面への水の吸着や孔隙の細かさのため水が抜けにくい 粘土のカードハウス構造 粘土鉱物の変化による脱水 高温による膨張などが考えられている。

圧密で堆積物は岩石になるが 同時に排出される流体に伴って有機物や重金属錯イオンが移動する。地下の温度と圧力のために地表にあったところより変化することが多い。有機物の移動と集積が石油鉱床を生む。石灰岩に伴う鉛・亜鉛鉱床をつくるものになる重金属溶液も 同じような圧密過程で絞り出されるとの説明も提案されている。

排出される水が どのように岩石中を流通するかの研究も盛んに行われ出している。そして流通系には流動する水の他に動きにくい水も存在する。筆者らは 一つのモデルを仮定して 流通系の動かない水は鉱物粒間の接点付近に存在する 毛管圧でへばりついている水が多いことを予測した。その結果 ボーリングによる実測値が明快に説明できることがわかった。

圧密に伴う鉱物粒の配列変えや 未固結堆積物中で鉱物粒が再移動する水抜け現象が生じると流通系の性質は変化する。黒鉱床の成因に この水抜け構造の重要性が注目され出したのは ごく最近のことである。

私たちが必要とする地下資源の探査に役立ち 私たちの暮らす大地の成り立ちを探るのが地下地質学である。流通系の研究は地下地質学の重要な一部門として新しく興りつつある。わが国では 地下地質学を専門にする研究者の数はまだ少ないが ボーリング技術・検層技術などの発展に伴い 今後増加していくことが期待されている。

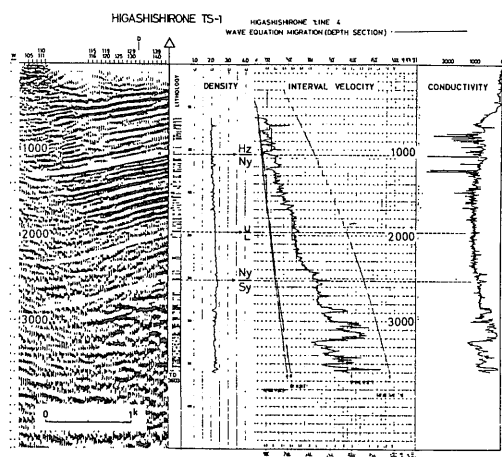


図1. 地震探査と検層解析の比較 (地下地質構造の推定)

図上の三角印を境に左側の縞模様は地震探査結果で 白太線が地層境界を示唆する。縦軸は深度で約5 km くらいまで。右側は右へ密度検層・音波検層結果を並べている (深度約4 km まで)。深いほど密度が増え 異なる地層で値と傾向が異なることが読みとれる。(出典: 公手忠・井川猛・猪間明後・宮崎浩, 1978, 砂岩鉱床探鉱の事例。石油技術協会誌, 43巻, 6号, 338頁)。更に電気検層は流体の性質を示唆してくれるだろう。