

## 深掘のCutting試料について

阿部正宏

### まえがき

このところ温泉ブーム等で深い井戸掘が多くなってきている。深掘りの目的が、温泉や地下水を出すことの為、どうしても地質層序等地質学的資料にはほど遠い現状である。当社であっても、深掘りコア資料はほとんどない状態で、地層の判定も井戸からでるCutting試料とその掘さく地点近傍の野外地質の層序にあてはめながら報告書をまとめている。一方、石油・天然ガス鉱床の調査や熱資源のための地熱調査では、コアを採取し、このコアについて多くの試験研究を重ねながら報告書をまとめている。いいかえると、石油・天然ガス・地熱の調査では新しい資料とコアとが残されてゆき、つぎのステップに役立っている。

Cutting試料であっても、それをうまく利用すれば、つぎのボーリングの資料になるはずである。

今後の資料になるだろうと考えている点についてのべる。

### 既存の資料について

温泉ボーリングをする際に一番問題となることは温度と水の問題である。両方が満足して始めて温泉が成立つ。昔は天然に湧出する湯を利用し、或いはその附近をボーリングして温泉に利用していた。最近の温泉ボーリングは火山や火山岩に熱源を求めるというよりは、深層地下水の汲上げによる温泉が増えてきた。

この関係で調査の仕方もち域的なひろがりの中で進めてゆくようになってきている。

この為に利用する資料もやゝ地域性をもったひろがりや深さを必要とするようになった。今回は熱に対しての資料についてまとめた。

掘さく深度が1,000m以上になると、石油ボーリングのコアでは、埋没変成をうけてコア中にいろいろな自生鉱物が晶出している（飯島・歌田、1965；藤岡・吉川、1969；Iijima and Utada, 1971；下山・飯島、1977、佐々木・藤岡・藤岡、1982など）。

一つ一つ説明することは省略するが、1) 泥質岩にみられる自生鉱物の変化は、火山碎

層岩の変化と調和的である。2) 海成・淡水成層中の沸石は埋没続成によって生成される(局部的熱源がある場合を除き)。3) 広域的分布と垂直的帯状配列が特徴づけられることが多い。4) 埋没続成下における沸石の自生は、温度・圧力・反応速度・被熱時間などの物理的要因と地層水の化学組成・濃度・PH・Eh・化学成分の移動などの化学的要因に支配されるとしている。

## 沸石の生成

この研究は1960年後半から急速に進み多くの研究報告がある。青柳(1978)は、海成泥岩中の沸石は物理的因子が強く支配しているとし、Iijima(1975)は、地層水中の $\text{Na}^+$ 濃度が沸石反応温度の低下に重要な役割を果たしているとしている。鹿野(1977・1978)は温度・圧力・および化学的条件に加えて、堆積時からの経過時間の重要性を指摘し、藤岡・佐々木(1971)は圧密度との関係、青柳・風間(1977)は埋没荷重圧、青柳・浅川(1978)は泥質岩の圧密段階との関係、Iijima and Utada(1971)やIijima(1971)は地層圧など沸石化に対する圧力の影響をのべている。

以上の論文報告をまとめてみると、

- 1) 自生鉱物の形成温度と各自生鉱物帯の出現深度との関係から古地温勾配と隆起後の削剝量の推測にまで論議を進めている。
- 2) 沸石の累帯分布の特徴から変質相を隆起型と沈隆型に分け、構造運動と結びつけている。
- 3) 沸石型と地温勾配が密接な関係にある。
- 4) 根岸(1981)はクリノプチロル沸石の脱水機構、藤岡・田中(1972)の油層工学的立場から沸石化凝灰岩の酸に対する影響、下山・飯島(1977)の石灰化度と沸石帯との間の因果関係について議論している。

## 埋没深度と沸石の生成温度

ここで大事なことは、化学的にみて、沸石化作用は“不可逆反応”であるので、最終の沸石帯は、地層の最大埋没期に形成される。地質学的に現在が最大埋没深度にあると思われる井戸では、現在の地層温度(地温)が沸石生成に関与した温度と考える。

## 堆積岩中の自生鉱物と沸石帯

Zeolite, Silica & Clay Minerals	ZEOLITE ZONES						
	GLASS	CLINOPTILOLITE			ANALCIME	ALBITE	
Glass	-----						
Clinoptilolite	-----						
Mordenite	-----						
Analcime	-----						
Albite	-----						
Heulandite	-----						
Laumontite	-----						
Cristobalite	-----						
Quartz	-----						
Montmorillonite	-----						
Mixed Layer	-----						
Illite	-----						
Chlorite	-----						
Mineral Zones (KAZAMA, 1980)	A	B	C	D	E	F	G

藤岡・吉川 (1969), 飯島 (1978), 青柳・風間 (1977) による。

石油井戸の資料をみると、深度では800m以深になってクリノプチロル沸石帯があらわれはじめる。要するに、最大埋没深度と沸石帯上限の地温の関係を確実に知ることが大切である。

これまでの資料では、地温勾配の高い抗井（5℃/100m以上）では、沸石帯は、より低い地温で形成し始め、地温勾配の低い抗井（3℃/100m以下）では沸石帯は、より高い地温で形成し始めている。

現在までに報告された値をまとめてみると、測定した場所の違いの他に圧力（圧密）・反応速度・被熱時間の差や地層水の化学組成の違いよりことなっている。クリノプチライトでは、最低温度が30℃（飯島、1978）、最高温度は、69℃（佐々木ら、1982）で、平均は $630^{\circ}\text{C}/13=48.5^{\circ}\text{C}$ となる。

一般に、深度が1,400m以深になると、沸石は方沸石帯にかわっている。温度は最低温度 57℃（Utada, 1971）、最高温度は125℃（藤田ら、1977）で、平均は $1,754^{\circ}\text{C}/19=92.3^{\circ}\text{C}$ となる。温泉ボーリングで2,000mをこえることはないが、石油抗井では2,000m以上の深度のものもあり、曹長石帯の出現となる。曹長石の最低温度は、最低が65℃（Utada, 1971）と特別低いが他は100℃をこえ、最大温度158℃（佐々木ら、1982）で、平均が $1,515/13=116.5^{\circ}\text{C}$ となっている。

青柳ら（1977）、青柳（1978）によると、クリノプチロル沸石は、初期圧密から後期圧密段階初期、地温57℃以上の条件下で火山ガラスを交代して生成するとしている。また、クリノプチロル沸石から方沸石への転換は、後期圧密段階後半、地温86℃以上の条件下で生成し始めるとしている。深度が増すにつれて、粒子間あるいは既存鉱物粒子と置換して主として珪長質鉱物の自生結晶が成長し始め、強固な結合組織を作っていく。

鹿野（1977、1978）は、堆積時からの経過時間の重要性を指摘し、たとえば、クリノプ

チロル沸石が47℃で生成し始めるには、およそ100万年の時間を要するとしている。

藤岡・佐賀（1980）、米谷・村田（1977）その他の諸文献によると、各沸石帯上限における地温は、沸石帯の出現する層準が新しくなるにつれてより高温となる傾向が認められている。

クリノプチロル沸石の生成温度は、鮮新世初期（絶対年代 6 Ma）で $60 \pm 3$ ℃、鮮新世末期（3 Ma）で $66 \pm 3$ ℃であり、方沸石の生成温度は中新世中期（15Ma）で $96 \pm 10$ ℃、中新世後期（9 Ma）で $101 \pm 10$ ℃、鮮新世初期（6 Ma）で $105 \pm 10$ ℃である。曹長石の生成温度との関係については省略する。

### 将来への展望

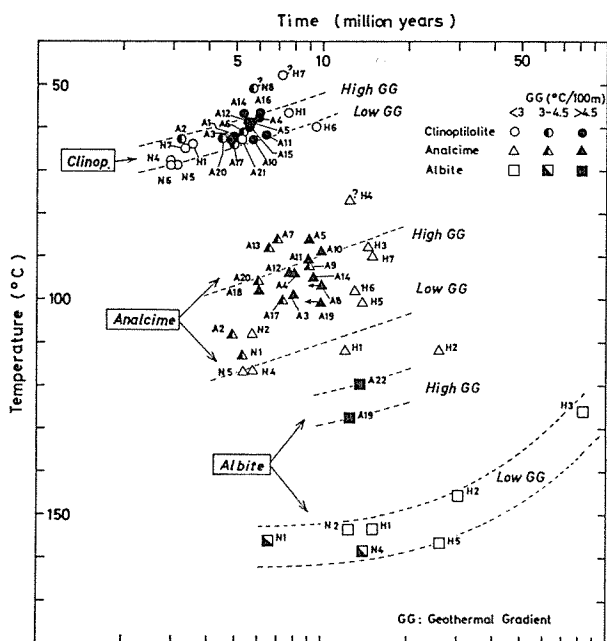
温泉ボーリングの際にコア試料をとることはむずかしい。カッティング試料を利用してできることを考えるべきである。探査でよくカッティング試料を利用して調べて来たことをまとめてみると、地層の対比、層序の確認に、カッティングの中にある“珪藻・有孔虫”を利用する方法が行われている。

この古生物学的方法以外とすれば、重鉱物や比重測定時に年代測定等の物理的方法がとられている。

石油井戸の資料から、地層が最大埋没深度に達したときの各沸石帯上限深度における地層圧と地温との関係は、場所によって値には差があるが、各沸石帯上限の地層圧として、クリノプチロル沸石帯で最低で $90 \text{ kg/cm}^2$ 、方沸石帯で $160 \text{ kg/cm}^2$ 、曹長石帯で $220 \text{ kg/cm}^2$ の値がえられている。泥質岩について各沸石帯上限における地温と密度検層やコア・カッティングによる見掛比重から求めた泥質岩の孔隙率との関係を求めており、泥質岩の孔隙率はクリノプチロル沸石帯で27～35%（平均31%）、方沸石帯で14～24%（平均18%）曹長石帯で10～13%（平均12%）の値が得られている。

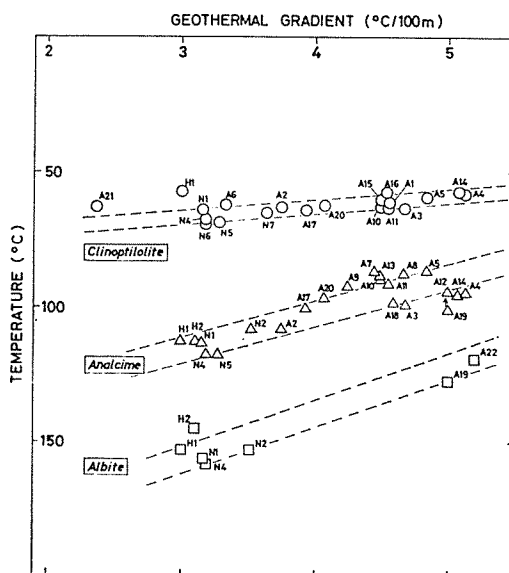
各沸石帯の出現層準と地温の関係については次図のようにまとめられている。

各沸石帯の出現層準と地温の関係 (佐々木ら, 1982)



クリノプチロル沸石帯の厚さと地温勾配との相関性については、藤岡・吉川 (1969)、Utada (1971)、歌田 (1974) により、沸石型が地温勾配と密接で下図のようにまとめている。

各沸石帯上限の地温と地温勾配の関係



油田や地熱の調査資料から、火山ガラスより変質生成する各沸石帯は、主にその地層が最大埋没深度に達して、その環境のもとでうける物理的要因（温度、被熱時間、圧密、地温勾配）によって形成される。各沸石の生成は、特に温度に支配されているが、その温度はその地域の地温勾配と地層の有効被熱時間の影響をうけて変化している。

このような資料をわれわれの温泉ボーリングのカッティングを利用して調べれば、沸石類の出現する深度から、地温、孔隙率の予想等についての検討ができるようになる。地温勾配が高く、有効被熱時間が長ければ、地層水中の化学成分の移動や反応速度がよくなって沸石化が増進される。

地下で地層が暖められる要素を考えると、たとえば、一般に物体は圧縮をうけると温度がそれだけ上がる。熱を外部から与えなくても、圧縮のみによって温度の上がる現象を“断熱圧縮による温度の上昇”とよんでいる。そのほか、地球内部の温度の上昇は、マグマの存在とか火山岩の貫入とかの直接的なものと、地球構成物質の中のウラン・トリウム・カリウム等の放射性元素の崩壊によって出る熱のような間接的なものが主な地熱の熱源である。この為火山地帯の温泉でない場合には、地下にある熱によって暖められた地下水が主となるものと考えている。いいかえると、降雨や河川水が地下水となり、地熱で暖められて地下水となって地層中に存在していることになる。この地層が埋没してゆけば、圧力が加わり、地層は圧縮（圧密）され、温度が上昇する。条件が整えば、沸石類の自生がおこるはずである。

熱源の温度が増加せず、上からの冷たい地下水を暖めているとすれば、地下水を汲上げて新しい冷たい地下水を暖める作用を続けてゆけば、地層の温度は漸次低下してゆく。

地熱地帯の調査ではよく熱源の寿命の問題が話題となる。岩手県の松川地熱井で熱源の推算が行われ、1～2万年といわれている。マグマ溜り自体の熱源の寿命は数万年から数十万年におよぶとしても、外から地下に浸透してくる水を常に熱し、それがどんどん利用されるとすると、地熱井自身の寿命は短くなる。

将来、寿命ある地下水を温泉として利用するとすれば、その地域での地温、地温勾配とカッティング試料中に自生鉱物として生じた沸石についても調べて、温泉の温度変化や汲上げ量を考慮して寿命をいかに延ばしてゆくかを考えてゆく段階にきているのではないだろうか。

(株)長谷地質調査事務所)

参考文献：佐々木詔雄・藤岡展价・藤岡一男（1982）；埋没続成下における堆積中の沸石帯の生成要因、石油技協、47巻、1号、1～11頁