

断層と地熱系

Faults and geothermal system

藤本 光一郎[1]

Koichiro Fujimoto[1]

[1] 東学大

[1] TGU

陸域の大地震の多くは断層深部の温度が 300 前後の 10~15km の深度で発生する。近年の広帯域 MT 法探査や地震波の解析から、断層深部で水の存在が示唆され、地震発生との関連が注目を集めている。しかし、そのような水が実際にはどのような形態で存在するのか、断層をどのように移動するのかなど、詳細は明らかになっていないのが現状である。一方、日本には多くの活地熱地帯が存在し、いくつかの地域では温度が 350 以上、深度 3km 以上まで掘削され、地下深部での水の性状や、水の通路や貯留層などについてかなり明らかにされている。そこで、活地熱地帯が、断層深部の水を考える上でアナログとなりうるかについて考えてみたい。

若い花崗岩が地下 3km に貫入し、活発な地熱活動が見られる岩手県の葛根田地域は、大規模な深部調査が NEDO によって行われ、地下 4km で温度が 500 を超える領域までの状況が明らかにされている。そこでは、400 弱を境として、それより浅い低温側では天水を起源とする熱水対流系が発達している。それに対して、より深い高温側では、熱水対流系は発達せず天水浸入の痕跡は見られないものの、マグマ起源と考えられる重金属濃度の高い塩水や二酸化炭素や硫化水素に富む深部流体が採取された。それらは花崗岩の内部の微細な空隙に存在し、透水性はそれほど高くないと考えられている。一方、熱水対流系の発達する部分では微小地震が発生するが、それより深部では微小地震の発生は見られない。また、流体の圧力は熱水対流系の部分では静水圧だが、より深部になると岩圧に近づいていくと推定されている。

このような熱水対流系の底の条件（温度や深度）を決める要因には、岩盤の透水性、岩盤の変形様式（脆性-塑性遷移）などが考えられるが、それ以外に熱水の性質も無視することはできない。水溶液の臨界温度が、純水の場合に 374 であり、塩類や二酸化炭素が溶け込むとさらに高温になるが、対流系の底の温度とほぼ一致している。また、石英の溶解度が臨界点付近で最大になるが、このことは臨界点付近の前後の温度環境では石英の沈殿による割れ目のシーリングが起りやすいことを示唆している。岩盤側の条件と熱水側の条件が組み合わさって熱水系の底が決まると考えられる。

また、水圧破碎によって、高温のマグマから周囲に熱水が放出することもあり、それらはポーフィリーカップー鉱床で見ることができる。また、300 程度以下で形成された浅熱水性鉱脈鉱床などにおいても、関与する水のほとんどは天水起源であるが、鉱化のある時期にだけマグマ起源の熱水の関与する場合も多いことも多い。このように深部の水と浅所の水は 350 前後を境にして基本的には分離しているものの、深部起源の水が割れ目などを伝わって浅所に流入することはしばしば見られ、seismic pumping と呼ばれることもある。

また、水の収支バランスを考えると一方的に深部から上昇するだけではなく、地表から地下深部へ下降するフローも存在する。地熱系では前者を discharge flow、後者を recharge flow と呼び、通常 discharge flow は割れ目系に支配されてかなり局在化するのに対し、recharge flow は周囲の広い領域に存在すると考えられる。

断層深部の状況は、以上のべたような貫入岩近傍の地熱系を参照して考えられるだろうか。花崗岩地殻中の横ずれ断層の脆性—塑性遷移領域が露出している畑川破碎帯では、広域的ではないが断層活動と関連し、天水を起源とする熱水による 200~300 前後の変質作用が見られる。野島断層の破碎帯においてもより低温ではあるが活発な変質が見られる。地熱系においては、周囲に比べて高い地温勾配が存在し、それが熱水対流の起動力となっているが、地震を引き起こすような断層の場合、地熱系の場合の貫入岩のような熱と水双方を供給するようなものは特に考えられない。しかし、先に述べたような、脆性—塑性遷移領域（あるいは水の臨界点）付近を境に深部と浅部の流体の性状が異なるようなことは、基本的に温度圧力や岩石・熱水の化学的な性質によるものであり、断層近傍も地熱系も共通するはずである。したがって、断層深部にも独自の流体が存在し、それらがある時期に浅所に上昇することは予想されるが、量的に大きなものではなく、検出することはかなり難しいであろう。