

各種変形微細構造に基づく古応力場解析：その1，ヒールドおよびシールドマイクロクラックの形成温度条件と履歴について

Paleo-stress orientations from various deformation microstructures: temperatures and histories for healed and sealed microcracking

竹下 徹[1]

Toru Takeshita[1]

[1] 広大・理・地球惑星システム

[1] Dept. Earth and Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ

クラックヒーリングの実験結果に基づくと、マイクロクラックは300 oC以上の高温流体の浸透直後にはただちに癒合されるが、温度の低下とともにクラックヒーリング速度は遅くなり、流体から析出した鉱物に埋められる（シールされる）と考えられる。天然の変形岩において、ヒールドおよびシールドマイクロクラックが、最小(s_3)および中間(s_2)あるいは最大主応力(s_1)軸にそれぞれ垂直に優勢に形成されている事実は、前者が高温流体の浸透直後に、後者が温度降下期に形成されたことを示している。おそらく、温度降下期には、流体圧は s_3 軸方向で下がっていた一方、 s_2 軸あるいは s_1 軸方向では増加していたと解釈される。

変形岩石中の古応力場（岩石変形時の主応力軸の方位）解析には、異なる微細構造を利用する様々な手法が開発されてきた。古応力場解析に利用出来る変形鉱物中の微細構造要素には、変形ラメラ、変形双晶、キックバンドおよびマイクロクラックなどがある。最近になって、岩石中の各種変形微細構造は、その形成時期が微妙に異なっており、各変形ステージの物理条件を反映していることが判明して来た。今回の講演では、まずこの問題と関連して、(1)変形石英中のヒールドとシールドマイクロクラック方位分布の相違とその起源について述べる。さらに、(2)変形方解石中のe双晶を用いた古応力場解析について問題点と新手法について述べる。

変形石英中のマイクロクラックは、流体包有物の配列で認識されるヒールドマイクロクラックと鉱物脈にシールされたシールドマイクロクラックに区分することが出来る。これらのマイクロクラックの産状は、クラック形成時に大量の熱水が岩石中に浸透していたことを示しており、クラックがおそらく水圧破碎起源であることを示唆する。実際、マイクロクラックの殆どは、クラックに沿って変位の認められない引張割れ目である。引張割れ目は、最小主応力(s_3)軸に垂直に形成されると期待されるが、実際には s_3 軸垂直なクラックが優勢なものの、マイクロクラックの方位分布は複雑であり、主応力軸方位と直交する2~3のセットからなることが、変形ラメラやキックバンドを用いて独立に求めた主応力軸方位との比較から明らかにされた(Takeshita, 1995)。おそらく、熱水が岩石に浸透直後は、最初に s_3 軸の方向で流体圧が岩圧を上回り引張割れ目が形成されるが、多数のマイクロクラックの形成によって s_3 軸方向の流体圧が下がると、引き続いて s_2 および s_1 軸垂直の流体圧が岩圧を上回ってマイクロクラックの形成が進展すると考えられる。

一つの興味深い事実は、ヒールドマイクロクラックは、 s_3 軸垂直に形成されているものが圧倒的に優勢であるが、シールドマイクロクラックはむしろ、 s_2 軸や s_1 軸に垂直なものが優勢である。クラックヒーリングの実験からは、石英中のマイクロクラックは、400 oCの条件では2日で癒合（ヒーリング）されるが、200 oCの条件では癒合に2か月を要することが判明している。したがって、先に述べた各主応力軸に垂直なマイクロクラックの形成順序を考えると、熱水浸透直後の s_3 軸垂直のマイクロクラック形成時には、高温（300 oC以上）下でクラックは短期間に癒合されてヒールドマイクロクラックが形成された一方、 s_2 軸および s_1 軸垂直のマイクロクラック形成時には、温度が低下してクラックヒーリングに長期間を要したため、逆に流体から先に鉱物が析出し、シールドマイクロクラックが形成されたと解釈される。

方解石中のe双晶は、伸長軸がc軸に近い方位にある場合に、e双晶面上の+方向のすべりによってのみ形成されるため、主応力軸方位の決定に利用出来る。e双晶を用いた古応力場解析では(Turner, 1953)、e双晶を含む方解石粒子が、e双晶形成に最適(e双晶面に最大剪断応力がかかる方位)に向いていたと仮定する。しかし、単結晶の変形実験によると、e双晶は10 MPa程度の小さな剪断応力で形成されるので、天然の変形方解石では、応力場に対してe双晶形成にかなり不都合に向いた粒子にもe双晶が形成されている。その結果、Turnerの方法を用いて求められた主応力軸方位はかなりばらつく結果となる。この問題点を克服するためにTourneret and Laurent (1990)は、一つのインバージョン法を開発した。これは、まず薄片中のある領域でe双晶を持つ粒子すべてについて、残りのe双晶(方解石は三方晶系なので、等価な3つのe双晶がある)を形成していないe双晶面の方位を求める。その後、ある応力テンソルを仮定して、すべてのe双晶面上の剪断応力を計算し、観測(どの方位のe双晶面上で双晶が形成されているかいないか)に最適な応力テンソルの解を求めるものである。しかし、本方法の欠点は、粒子中のe双晶形成による歪量を考慮に入れてない点である。実際の天然変形方解石の観察によると、

粒子中の e 双晶による歪量（双晶の幅はほぼ一定なので，密度で判定する）は大きく異なることは明らかである．そこで，著者はある密度以上の e 双晶を持つ粒子については，e 双晶形成による微小歪を計算し，その主軸を古主応力軸とみなすことを提唱する．特に，2 つ以上の e 双晶が形成されている場合にはどちらのセットが多く形成されているかが古主応力軸を推定する上で重要と考えられるが，Tournieret and Laurent 法では，e 双晶面上の剪断応力を計算して，双晶するかしないかの検討しか出来ない．