

ブーディンから推定された異常におおきなべき乗流体のべき数について

Abnormally large power values of power law creep estimated from boudin analysis

小川 乃絵[1], 大槻 憲四郎[2]

Noe Ogawa[1], Kenshiro Otsuki[2]

[1] 東北大・理・地学, [2] 東北大・理・地球科学

[1] Earth Sci., Tohoku Univ, [2] Earth Sci., Tohoku Univ.

べき乗流体の n 値を變成度の異なる 3 地域のブーディン構造を解析することによって求めた結果、7, 11, 26 となった。11 の n 値は確かに圧力溶解クリープによる変形であり他の 2 地域のものも同様らしい。これらの結果は従来から知られている n 値より異常に大きく、天然に普遍的な変形の局所化を説明するのに都合が良い。大きな n 値は結晶粒間の構造化された超薄膜水/バルクの水、および応力に依存して粒界に放出されるらせん転位によって作られる境界の凹凸が支配している可能性がある。

地殻岩石の主要流動機構は転位すべりクリープと圧力溶解クリープである。両者とも歪速度が応力の n 乗に比例するべき乗流体であり、前者の n 値は 3 - 5 程度であり、後者は 1 とされている (唐戸, 1996)。圧力溶解クリープは間隙流体が存在する場合にのみ作動するが、所与の温度・歪速度での流動応力は転位すべりクリープよりも 2 桁ほど小さい。したがって、水が存在する地表から数 km までは圧力溶解クリープが支配的で、これによって速やかに応力が緩和されるため、微小地震の活動はきわめて低調である。近年、下部地殻にも水が存在するとの知見が増えつつあるが、そこでの微小地震の低調な活動も、水が原因なのかもしれない。

ところで、転位すべりクリープや圧力溶解クリープの n 値を含む各種物性定数は、流動実験と簡単な理論モデルから推定されたものであり、天然に適用可能かどうかの検証が必要である。我々は天然によく見られるブーディンという構造を解析することによって n 値を求める方法を開発し、いくつかの地域で n 値を求めた。ブーディンとは無限流動媒質中に強度の大きな層が存在し、この層に垂直に短縮された場合に、媒質の流動によって発生する層面上の剪断応力によって、層がある間隔で引き千切られてできる構造である。媒質をべき乗流体と仮定した簡単な流体力学的な検討によって、ブーディンの長さは厚さの $n/(n+1)$ 乗に比例するという関係が得られるので、種々のサイズのブーディンの長さや厚さを計測すれば、簡単に n 値が求められるというわけである。

1) 北海道中軸帯のグラニュライト相 (下部地殻相当) の變成帯に発達する角閃片岩中の斜長石脈と岩床状斑レイ岩のブーディンを多数計測した結果、両者とも角閃片岩の n 値が 26 であった。

2) 丹沢山地の角閃岩相下部において、角閃石の多い角閃片岩中の角閃石の少ない角閃片岩層のブーディンについては、 n 値は 7 となった。

3) 四万十帯瀬戸川層群 (緑色片岩相) のスレート中に発達する石英脈のブーディンについては、 n 値が 11 であった。

これらの n 値は従来知られている n 値に比べて異常に大きく、誤差範囲を考慮しても、べき数は 6 ~ 10 以上である。 n 値がこのような大きな場合には、応力がある一定値に達するまでは低い歪速度で変形し、これに達したとたん一気にきわめて高い歪速度で変形する。同時にこのことは、わずかの内部応力の差異から著しい変形の局所化に至ることを意味するので、さまざまなスケールでの著しい変形の局所化が一般的である天然の変形構造の説明が容易になる。

上記の 3 計測例のうち、瀬戸川帯の例は明らかに圧力溶解クリープで変形したものである。北海道中軸帯と丹沢の例については確かな証拠は無いが、含水鉱物である角閃石が多量に含まれていることは、これらも水の存在下での圧力溶解クリープであることを示唆する。それにもかかわらず、ブーディン法で求めた n 値がなぜか大きくなるのか？ 従来の研究によれば、圧力溶解クリープには反応律速と拡散律速とがある。反応律速の場合には、水の亜臨界領域での著しい反応性の増加を考慮しなければならないが、計測結果の n 値に温度依存性が認められない。拡散律速の場合には結晶粒界の水の存在様式が問題となる。厚さが nm オーダーの超薄膜水は構造化された“硬い水”で、溶質の拡散速度はバルクの水の場合よりも著しく小さいであろう。他方、粒間隙の形状は粒内からのらせん転位の放出速度に強く依存して凹凸 (ridge and channel 構造) ができるであろう。Channel の直径がバルクの水の存在を許す程度に太くなれば、拡散律速の圧力溶解は突然強くなるだろう (すなわち channel のパーコレーション)。粒界へのらせん転位の放出速度は応力に依存するから、その結果として拡散律速の圧力溶解クリープは強い応力依存性を示すことになるだろう。