

断層集団・断層帯のフラクタルジオメトリーと地震

Fractal geometry of fault populations and fault zones; their relations with earthquakes

大槻 憲四郎 [1]

Kenshiro Otsuki[1]

[1] 東北大・理・地学

[1] Earth Sci., Tohoku Univ.

I. 断層集団のフラクタル

地震は既存断層集団のフラクタルバックボーン上のフラクタル現象。破壊は散逸過程なので、断層集団の幾何学は進化則として表現されるはず。主応力軸と関連付けられて張られた測線上の全ての断層の位置と変位量を計測する。

I-1. 断層のサイズ分布 (Otsuki, 1998, GRL)

断層の総個数 N_t のうち、変位が D よりも大きい断層の積算個数 N は、

$$N/N_t = [1 + (D/D_c)^A]^{-B_s/A} \quad (1)$$

に良く回帰される。 D_c は特徴的的最小変位量、後で分かるように、 A は延性度を表すパラメータ、 B_s はサイズ分布のフラクタル次元である。

断層数密度を N_d 、変位量密度を D_d とすると、以下の式が成り立つ。

$$A = 0.495 * (D_c/N_d)^{-0.335} \quad (R^2 = 0.962) \quad (2)$$

$$B_s = 1.695 * [D_d/(D_c N_d)]^{-0.253} \quad (R^2 = 0.980) \quad (3)$$

$D_c N_d$ は散逸エネルギー密度と弾性歪エネルギー密度との比に比例する無次元物性を表し、流体のレイノルズ数に似た量である。式 (3) の $D_d/(D_c N_d)$ は散逸エネルギー密度で測った注入エネルギー密度であり、フラクタル次元 B_s はこの量の増加と共にともに減少する。 B_s が黄金分割比に近いことは、興味深い。

I-2. 断層の空間分布 (Goto & Otsuki, 2004, GRL)

断層集団によらず、全ての断層の空間分布の情報量次元はほぼ 1 になる。これは、断層の核が空間的にランダムに生成されることを示す。 $D > D_c$ の断層集団の空間分布の情報量次元 B_0 は、以下の式に回帰できる。

$$B_0 = 1.12 * (D_c N_d)^{0.0397} \quad (R^2 = 0.868) \quad (4)$$

これは、自発的不安定成長をするに至った断層集団のフラクタル空間分布は、散逸エネルギー密度比という物性だけで決定されることを表す。

断層変位量の空間分布の情報量次元 B_1 は、下の式に従う。

$$B_1 = 0.865 * [D_d/(D_c N_d)]^{-0.0683} \quad (R^2 = 0.904) \quad (5)$$

これも散逸エネルギー密度で測った注入エネルギー密度とともに減少する。

サイズ分布も空間分布は、以下の universal law で結ばれる。

$$B_1 = 0.763 * B_s^{0.219} \quad (R^2 = 0.950) \quad (6)$$

II. 断層帯のフラクタル

II-1. 階層的に自己相似な断層帯のジオメトリー (Otsuki & Dilov, 2005, JGR)

均質な岩石に段階的に载荷して断層の成長を追跡した結果、全ての破壊はセグメントとジョグで構成され、それらは階層的に入れ子になっていることが分かった。階層ランクを i 、セグメント長を $L_s(i)$ 、ジョグの長さと同幅を $L_j(i)$ 、 $W_j(i)$ とすれば、以下の式が成り立つ。

$$L_s(i) = 0.343 * L_s(i-1)^{0.999} \quad (R^2 = 0.956) \quad (7)$$

$$L_j(i) = 0.0935 * L_s(i-1)^{1.00} \quad (R^2 = 0.861) \quad (8)$$

$$W_j(i) = 0.0456 * L_s(i-1)^{0.642} \quad (R^2 = 0.691) \quad (9)$$

ほぼ同様な関係は、世界中の 20 の地震断層トレースについても成り立ち、10 の 8 乗のスケールに渡って成り立つ普遍則である (中村・大槻のポスター参照)。

II-2. 地震のサイズ分布と震源核のサイズ

階層的に自己相似な断層帯の幾何学にありそうな仮定を設けると、Gutenberg-Richter 則、および本震の M_0 が震源核のサイズの 3 乗に比例するという経験式を導出できる。

II-3. 表面破壊エネルギーの導出 (Otsuki, 2007, GRL)

粉砕が最も著しい所はジョグであり、割れ目の空間分布のフラクタル次元 D は 1.56 (普遍定数らしい) である。このことと階層的に自己相似な断層帯の幾何学を結合すると、表面破壊エネルギー G_s のサイズ依存性を導出できる。

$$G_s = C_1 * (L_0/x_0)^{D-1} \quad (10)$$

G_s は最小粉砕粒子径 x_0 で測られた断層全長 L_0 に依存する。階層ランク 1、2、3 のジョグの G_s は、平均値のほぼ 2、1、1/2 倍である。

II-4. 静的応力降下のサイズ依存性 (中村・大槻ポスター参照)

静的応力降下は一定とされているが、Nadeau & Johnson (1998, BSSA) はサイズ依存の経験式を見つけた。地震断層のセグメント長 L と変位 D との関係もこの経験式の上に乗る、全体として以下の式に回帰される。

$$D/L = 0.0253 * L^{-0.665} \quad (R^2 = 0.964) \quad (11)$$

静的応力降下は L が大きいほど小さく、変位分布がフラクタルであることで説明されるかもしれない。