

フラクチャー分布の多様性：1次元競争成長モデルによる数値シミュレーション

Fracture distribution diversities: numerical simulation using 1-D competitive growth model

茂野 博[1]; 佐々木 宗建[2]
Hiroshi Shigeno[1]; Munetake Sasaki[2]

[1] 産総研・地質調査総合センター; [2] 産総研・地圏資源
[1] G.S.J., A.I.S.T.; [2] AIST, GeoResour. Dep.

1. はじめに： 地震，断層などの生成機構と分布の規則性に関して，特に 1980 年代以降はフラクタル性，自己組織臨界性などを巡って多様な研究が進められ，数理モデル - 数値シミュレーションについて多数の報告が行われてきたが，それらの統合的な理解は非常に難しい（例えば，宇津，1999）。今回，周囲との相互作用が小さい（小変位の）フラクチャー群の生成 - 分布に絞って，非常に単純ではあるが本質的意味を含むと思われる空間 1 次元確率モデルに基づき，体系的な数値シミュレーションを行った結果を報告する。

2. モデル： 1次元連続均質空間を代表する等間隔の点の配列 Mat_F (配列数, N_0) を取り，毎回各点に乱数 (R_0 , $0.0 \sim 1.0$) を与えて最高値となる 1 点に得点 (1, フラクチャーの生成・成長に対応) を与え，これを繰り返す (繰り返し数, M)。得点を持つ点 (i) では，得点累計 (F_i) に応じて得点の取得確率 (R_i) が累乗的に増大するとして， $R_i = R_0 \times FF^{F_i}$ (ただし， FF は「競争係数」で， ~ 1.0) と設定する。特定の M 時点での状態について，各点の得点累計の配列 Mat_A，有得点から次の有得点までの隔たりの配列 Mat_B (無得点では 0) として整理する。

上記のモデル実験は，系全体の破壊速度を一定と仮定し，均質岩石中の環境を非常に単純に確率化して (応力 - 歪み - 変形 - 破壊の空間的相互作用を考慮しない)，新規フラクチャーの発生と既存フラクチャーの拡大との競争が引き起こす現象を， M (時間の経過，エネルギー蓄積量などに相当) と FF (岩石の「脆性破壊強度」に関連) とを 2 つのパラメータとして観察することに相当する。配列 Mat_A と Mat_B は，岩石試料 (露頭，コア，試験片など) についてフラクチャーの規模 (長さ，面積，幅など) とフラクチャー面に直交する方向に間隔 (スペーシング) とを計測・整理したデータに対応する。

3. シミュレーション結果： 一連の数値シミュレーションの結果を，第 1 図 ($N_0 = 10,000$) で代表的させた。第 1 図の左側は Mat_A (フラクチャー規模) の累積頻度，右側は Mat_B (フラクチャー間隔) の累積頻度の各々対数 - 対数表示である。第 1 図の上側は $M = 1000$ ，下側は $M = 10,000$ で，各図では FF を変化させた 8 ケース ($FF = 1.0000, 1.0001, 1.0005, 1.0010, 1.0020, 1.0030, 1.0050, 1.0100$) の計算例を示した。その結果は，以下のように整理される。

(1) フラクチャー規模は広範囲でフラクタル性を持つ。そのフラクタル次元 (D) は，フラクチャー形状を 1 次元的に考えれば ~ 1.0 ，2 次元的に考えれば ~ 2.0 となる。

(2) フラクチャーの規模は，時間とともに「ポアソン分布」，フラクタル分布，単一大規模分布へと変化する。一連の変化により，「フラクタル次元 (D) 値」は低下する。

(3) フラクタル分布で一定化するフラクチャー数 (NF) は概略 $NF = 1 / (FF - 1)$ ，一定化に要する期間 (MF) は概略 $MF = NF \times 10$ の関係にある ($FF = 1$ では正規分布)。

(4) フラクチャーの間隔は対数正規分布的であり， FF が大きいほど平均値・分散が大きく，また分布の一定化に要する時間は短い (上記 (3) を参照)。

4. おわりに： 本説の単純なモデルと方法は，フラクチャー分布の理解や制御への応用が期待される。また，地震や断層などに関連しても様々な拡張性を持っている可能性がある。例えば，佐々木 (2004) は，鹿児島県の菱刈金鉱床周辺の調査坑井コアについて，分布する鉱物脈の厚さと間隔を多数測定しており，今回の結果に調和的な結果を得ている。茂野 (1995) が報告した温泉沈殿物の形状多様性についての数理モデルと数値シミュレーション結果は，若干複雑であるが本質的に今回の場合と同一性を持つ (図 7 参照)。しかし，本説のモデルと方法はその単純さ故に，注意深い配慮をもって現実の複雑な問題へ適用する必要がある。

文献 佐々木宗建 (2004) 菱刈ボーリングコアに見られる鉱物脈の統計的特徴。資源地質学会第 154 回年会講演会講演要旨集, P-28. 茂野 博 (1995) 温泉沈殿物による棚田状テラス生成の機構と数値シミュレーション。地熱, 32, 317-336. 宇津徳治 (1999) 地震活動総説，東大出版会，876p.

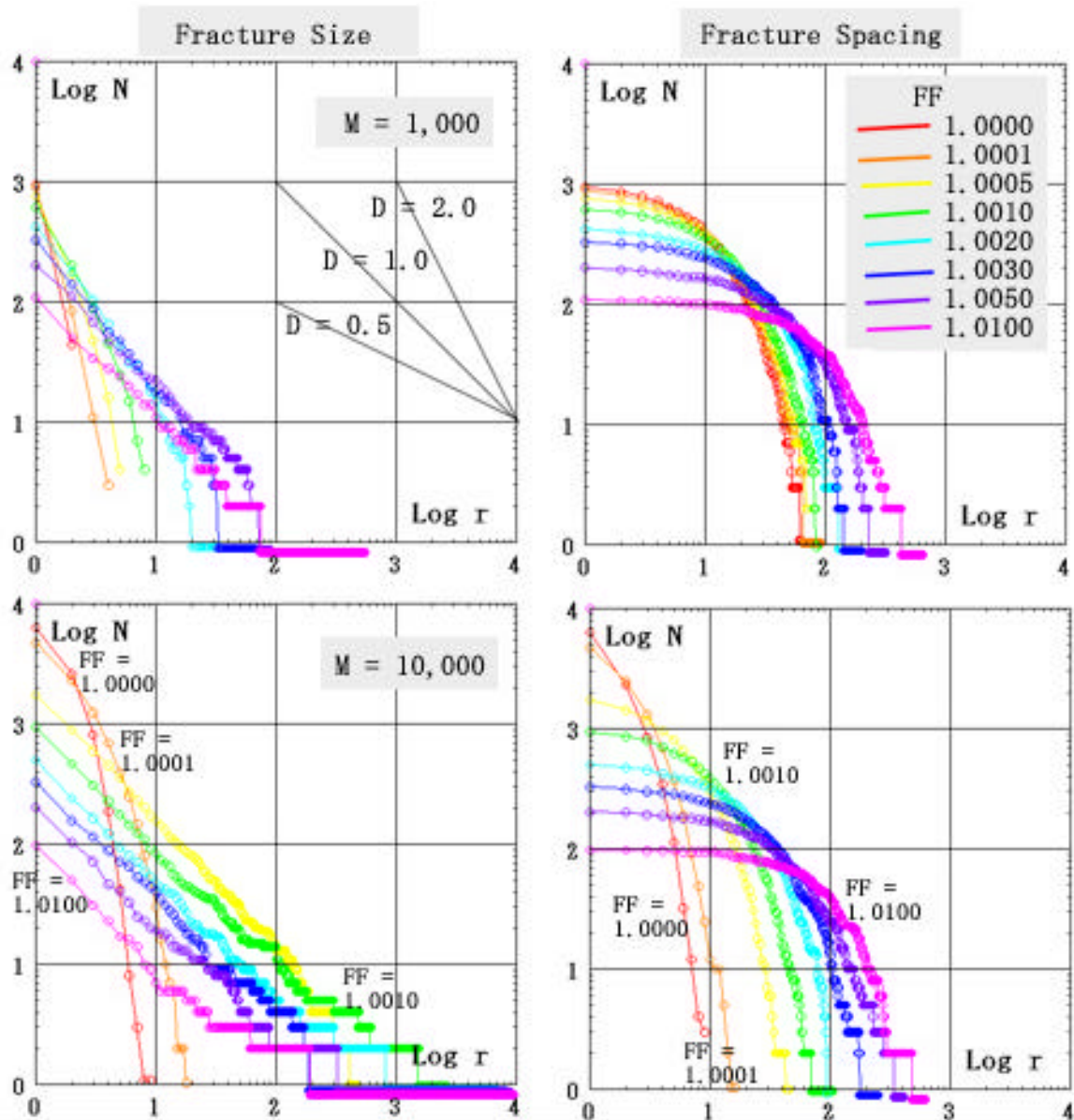


Fig.1 Fracture characteristics simulated using 1-D competitive growth model