

特集 地球科学における形の問題

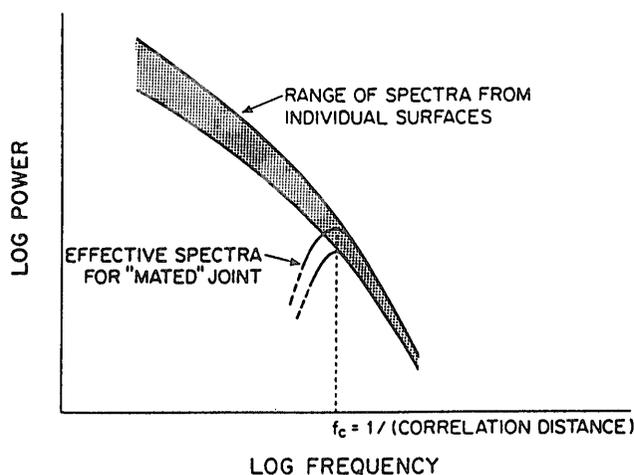
岩石物性に現れる「形」の問題

西澤 修

岩石の弾性波速度、浸透率、含水状態での電気伝導度などの物性は岩石中に含まれるポア、クラック、ジョイントなど空隙や割れ目に支配される。とくに透水率はジョイントの存在によって著しく大きい値となる。ジョイントの表面には不規則な凹凸があり、このような凹凸の面が重なりあって水の通路が形成される。ジョイント表面の凹凸はフラクタル構造をしており、凹凸の高さを表すスペクトル密度は凹凸の周波数を  $f$  とすると  $f^{-\alpha}$  で表されるので、低周波側（凹凸の周期が長い側）ほどスペクトル強度は大きくなる。ここで  $\alpha$  が大きいほどフラクタル次元は小さく視覚的にはよりなめらかとなる。し

かし、ジョイント面の隙間についてはある特徴的な周波数  $f_c$  を境に低周波側ほどスペクトル密度が小さくなる（第 1 図）。このためジョイントのかみ合い状態を詳しく調べるには  $f_c$  を知る必要がある。BROWN *et al.* (1987) は実際のボーリングコアのジョイント面を開いて  $f_c$  を調べた。このようにジョイント面の形態的特徴が明らかにされれば、コンピュータシミュレーションによってジョイントの隙間を流れる水の量を計算することができる。ジョイントを平行平板と考えたモデルでは水の流量は平板間の隙間を  $d$  とすると  $d^3$  に比例するので、流量から逆に平行平板モデルで近似した実効的隙間を逆に定めることができる。BROWN (1987) の結果によると隙間が狭くなると隙間の平均値は実効的隙間の大きさと大きく異なってくるが、フラクタル次元の違いはこの結果に影響を与えない。

(地殻熱部)



第 1 図 ジョイント面とすきまのスペクトルを示す図。  
「かみあい」のためジョイント面のすきまは  $f_c$  より長波長側で再びスペクトル強度が弱まる。BROWN (1985 b)

\* 昭和 63 年 9 月 29 日日本所において開催

## 断層のフラクタル構造

平田隆幸

断層, ジョイント, マイクロクラックは, 地殻の異なるスケールでの岩石の「ひび割れ」の名称である。岩石の広範囲にわたる「ひび割れ」は, スケーリング則(フラクタル構造)をみることがわかってきた。自己相似構造をもつ形を定量化するパラメータの一つとしてフラクタル次元がある。ここでは, 岩石の「ひび割れ」のフラクタル構造に注目して, フラクタル次元による定量化を試みた。その結果, 岩石のひび割れのフラクタル次元には, 上限値( $D=1.6$ )が存在していることがわかった。また, 「ひび割れ」の形のフラクタル構造以外の側面を定量化するために, ホートン解析をおこなった。形自身は, フラクタル次元以上に多くの情報量をもっている。ホートンの分岐比は, 枝分かれ構造をしている断層系に対して, 有効に思える。また, 分岐パターンに対して, ランダム・ネットワークモデルの有効性を議論する。

(筑波大学)

## 岩石断面のフラクタルと小天体表層の地形・構造

藤村彰夫\*古本宗充\*\*高木靖彦\*\*水谷 仁\*

動的な衝突変形及び静的な一軸圧縮変形により岩石(玄武岩とカンラン岩)を実験的に破壊し, 破片の破断面の形状を調べた。“island”法による形状解析から, 全ての場合において“破断面の形状”はフラクタル的であった。フラクタル次元は岩石が違っても著しく変わらないが, 衝突と静的変形の違いで異なる値を持つ。即ち, 衝突で作られた破断面は静的変形によるものよりもフラクタル次元が低い。

衝突破壊で作られた破片の外形と破片内部のクラックで囲まれた部分の形状はフラクタル次元が等しく, クラックで囲まれた部分が潜在的破片であると解釈できる(FUJIMURA *et al.*, 1985)。同じ破片についてクラックの分布を明らかにするため“box counting”法でフラクタル次元を求めた( $D=1.55$ )。この値はフォボス(火星の月)表面の“溝”(スティックニー・クレーター)の分布を同様な方法で解析して得た値( $D=1.57$ )に似ている。フォボス石膏模型を用いた破壊実験(KAWAKAMI *et al.*, 1988) 試料について, 衝突で形成されたクレー

ター近傍の割れ目(フォボスで解析したのと同緯度・経度の領域)の分布を同様な方法で解析した結果は  $1.4 < D < 1.6$  であった。これはフォボスの“溝”が衝突に伴う破断を表すという解釈と矛盾しない。

しかしながら, 同様な方法で測られた日本の活断層のフラクタル次元(平田; 1988)も数値的にこれらと極めて似ている。断層は静的な変形で形成されたと考えられるので, “断層(破断面)の分布”のフラクタル次元は“破断面の形状”の場合とは異なり, 動的な衝突変形あるいは静的な変形の結果であるかを分類するインディケータにならないかもしれない。

FUJIMURA *et al.*: *Mem. Natl. Inst. Polar Res.*, Spec. Issue, 41, 348, 1985.

平田隆幸: 本研究会にて発表。

KAWAKAMI *et al.*: *Sci. Rep. Fac. Education, Gifu Univ.*, 13, 1988 (in press).

(\* 宇宙科学研究所 \*\* 名古屋大学)

## 地震波最大振幅の距離減衰式のフラクタル的解釈

佐藤春夫

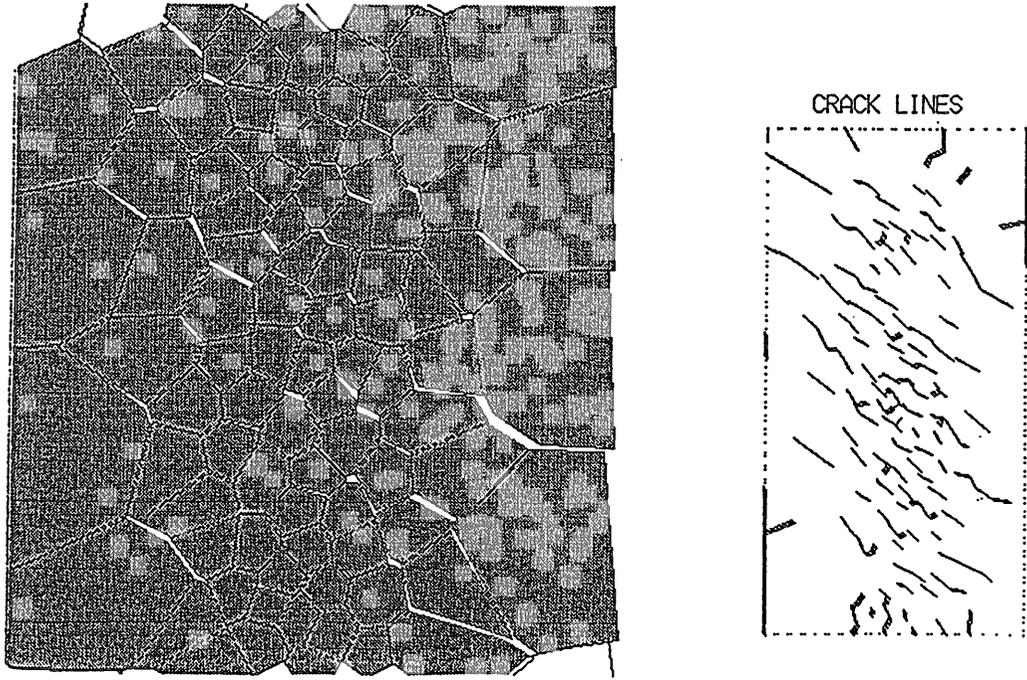
近地地震の最大振幅と震源距離の対数の間には, 線形関係(Modified Gutenberg Richter's formula)が成立する事が経験的に知られている。しかし, この関係から地震波の減衰を表わすQ値を直接推定することは出来ない。そこで減衰体を, 空間内に一様ではなくクラスターの(フラクタル的に一様)に分布させてみよう。分布を特徴づけるフラクタル次元をDとする。D=3の時には良く知られた指数関数的減衰が導かれるが, D=2の時には振幅は距離の幕で表わされる。すなわち対数間の線形関係が成立する事が示される。もしも地震断層が個々の減衰体に対応すると考えるならば, この線形関係の成立は微小地震の震源分布のフラクタル次元が3より小さいという事実と良く一致する。

(国立防災科学技術センター)

## 地質学的クラック情報を有限要素モデルに導入する研究

山田俊夫・浜島良吉・井上 誠

地質学的変形を受けた地盤は, 節理, クラック, 断層等により多面体要素分割されている。地質調査等により



第 1 図 多角形有限要素弾塑性解析による要素変位図と断裂クラック線図

得られるクラック，リネーション等の直線要素を三次元的には円盤と仮定する事により直線要素の代表位置を円盤の中心点に取ることができる。この代表点の出現頻度，伸びの方向性，長さの関係はフラクタルな関係にある。したがって，実測データから統計的手法によりフラクタル係数を求め，この区域においてフラクタル係数の相似性が保たれると仮定すると，モデル地盤のクラック，リネーション等をシミュレーションすることができる。

このモデル地盤の直線要素の中心点から，Vornoi図作成の原理を用い，各点の領域を一義的な多角形として決定することができる。完成した多角形網をRBSM(剛体-バネモデル)の要素として数値解析を行うと，より自然状態に近い解析結果が得られる。

第 1 図は，この手法を用い石膏のせん断破壊における断裂クラックをシミュレーションした結果である。

(非線形力学研究所・埼玉大学・(株)ダイヤコンサルタント)

### 部分溶融した岩石中での液相のネットワーク

中野 司

部分溶融した岩石中の液相のネットワークの連結度は，火山下部の部分溶融層におけるマグマの移動，集積過程，その領域の巨視的な物性(例えば粘弾性，電気伝導度)を支配する基本的な要素である。特に，上部マントルでは，界面エネルギーが液相の存在形態や分布を支配する状態(=構造平衡; Textural equilibrium)が成り立っているので，液相による粒界のぬれ易さはその粒界をとりかこむ多種の固相(鉱物結晶)の組合せによって異なり，その結果，液相の分布は固相の分布に依存する。したがって，液相のなすネットワークの形成度は単に液相の量だけで決まるのではなく，系の構成鉱物の量比の関数でもありと考えられる。

界面エネルギーを考慮した熱力学を用いて，ごく少量の液相を含む部分溶融系内の多面体鉱物結晶の頂の部分における液相の形状，安定性を比界面エネルギー(=固相と液相間の界面エネルギー/固相間の界面エネルギー，ただし固相間の界面エネルギーは一樣と仮定)の関数として表わした。それより，比界面エネルギーの小さな固

相に多く取り囲まれた頂ほど、液相を安定かつ多量に保持し、またそこでは液相は隣あう液相とつながり易いことがわかった。これより、構造平衡下の部分溶融系内でつながった状態にある液相のネットワークは、そのほとんどの部分を比界面エネルギーが最も小さな固相にのみ取り囲まれていることが予想される。

液相の分布がそれを取り囲む固相の分布に依存する多種粒子混合物中での液相のネットワーク形成度の推定には、従来の浸透理論(Percolation theory)を用いることはできない。なぜなら、従来の浸透理論では液相の分布は例えばランダムであると仮定するからである。そこで、多種粒界浸透問題(略して MGCP)のモデルを作り、詳しく調べた。MGCPでは粒界における液相の有無がそれを取り囲む粒種組合せによって決まる場合の液相のなすネットワークの連結の如何を問題にする。従来の浸透理論における液相の臨界数密度に対して、MGCPでは液相のネットワークが途切れた状態からつながった状態へと急変する固相粒子の臨界体積比が重要である。先の熱力学から得られた結果を用いると、岩石中の鉱物結晶の形状の近似として適当なケルビン14面体様粒子系が構造平衡下にある場合、比界面エネルギーの小さな粒子が63 vol.%以上あれば液相のネットワークは系全体にわたってつながりうるということがわかった。

(神戸大学)

### リモートセンシング画像における 線状模様の抽出と結合

浦井 稔・佐藤 功

高空間分解能画像から線状模様を抽出する一連の手法を提案した。この手法は、エッジ検出・細線化・線要素の結合および線状模様の表示の4つの部分に分けられる。エッジ検出では、太陽照射方向を利用して谷部分を抽出する新しい方法を提案した。細線化については、線要素の方向性を利用した簡便な方法を提案した。線要素の結合アルゴリズムについては、結合に要するコストの概念を導入した。この手法によれば、高空間分解能画像から比較的長い線状模様を抽出することができた。しかし、結合に要するコストの計算法は、検討の余地がある。今後、結合に要するコストの計算法を確立する必要があると思われる。

(地殻物理部)

### エントロピー・オペレータによる マクロテクスチャ解析

佐藤 功・浦井 稔

衛星映像上のパターン的一种で、地質判読要素の一つとしてテクスチャがある。講演では、テクスチャの最も簡単な解析法の一つであるエッジ密度によるテクスチャ区分へのエントロピー・オペレータの適用例について述べた。伊豆大島のTMバンド4画像を用い、エッジ密度の違いが地形起伏の粗さに基づくテクスチャをよく表現しうることを、また、エッジ密度の高い領域が古期山体と対応していることを報告した。結論として、エッジ検出オペレータとしてのエントロピー・オペレータは、(1)非線形であり、人間の目で識別が困難な平均濃度レベルの低い領域でのエッジ検出に適すること、(2)方向性のあるテクスチャの区分はできないこと、(3)地形起伏の粗さを表現するには、反転及び非反転画像の両エッジ抽出画像の和集合を用いる必要があること、(4)岩質区分への適用には、岩質と地形起伏との相互関係を明らかにする必要があり、このための定量的な検討の一手段となるだろうことなどを報告した。

(地殻物理部)

### 画像の周期性解析のための一方法

二宮芳樹・佐藤 功・浦井 稔

画像を理解する方法の一つに空間的な特徴を抽出するテクスチャ解析手法がある。地球観測衛星画像を空間的なデータ群としてみると、それは地形情報を反映している。地形構造には一般に侵食の程度に相当する周期性が存在する。侵食の程度は地質や年代により決まるので、地球観測画像に認められる地形の周期性は地質情報をあらゆる重要なテクスチャ量であるといえる。

本講演では、まず、データ列の粗視化の度合と二次差分の関係(以後  $ss-\bar{d}^2$  関係と呼ぶ)はデータ列の周期性を反映することをモデルデータを用いて示し、 $ss-\bar{d}^2$  関係をテクスチャ特徴ベクトルとして用いる解析手法について検討を行った。次に豊肥地域のランドサットTM画像から地質的に8種類に分かれる36サンプル領域を抽出し、このサンプル群に対して、本手法と従来手法であるフーリエパワースペクトルを特徴ベクトルとして用いるテクスチャ解析手法を適用し、両手法の岩相分類能力

を比較した。

サンプルの数量が少ない点やテクスチャが均質とはいえないサンプルが含まれている点など不十分な点も多いが、現段階では以下のような結果が得られている。

- 1) どちらの方法でも海域は非常によく分離できる。
- 2) 火砕流台地、石灰岩・チャートの分類は、 $ss-d_2$  法の方がよい結果を示す。
- 3) 九重安山岩、祖母火山岩の分類は、フーリエパワースペクトル法の方がよい結果を示す。

(地殻物理部)

### 斑晶分布パターンの解読

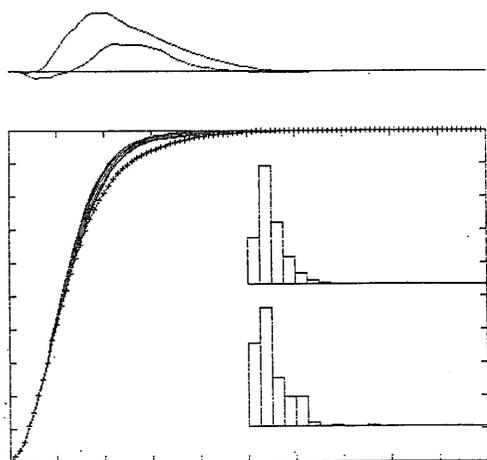
野呂春文

斑晶を点で代表させて、その点の配置パターンの記述を試みる。配置パターンが、何らかの岩石の成因を反映

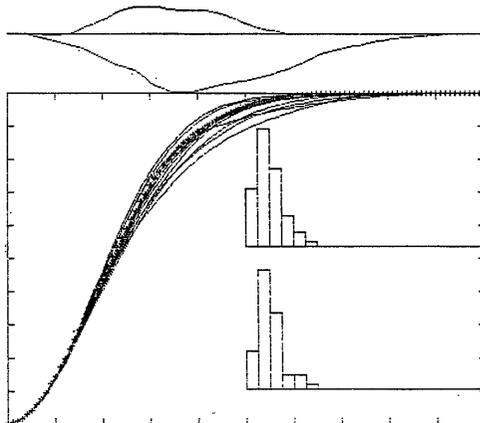
していると考えるからである。

配置パターンの記述のために、ランダムに散布した点から半径  $t$  の円内に落ちる観測点の個数の分布を考える。観測点のセットについて 1 つの分布曲線が得られる。同様の処理を、シミュレーションでランダム配置するように生成した点のセットについて行う。複数回、それを繰り返し、観測点のセットについての分布曲線と、ランダム配置のセットについての分布曲線を比較する。これによって、観測点のセットが、規則的か、ランダムか、それとも、集中型配置か判定できる。

以上の方法で、屋久島の花崗岩のカリ長石巨斑晶、筑波山の花崗岩のカリ長石の斑晶、そして、筑波山の泥質ホルンフェルスの黒雲母斑状変晶、の分布を調べた。屋久島花崗岩のカリ長石巨斑晶は集中型配置、筑波山花崗岩のカリ長石斑晶はランダム配置、筑波山泥質ホルンフェルスの黒雲母斑状変晶は規則型配置であることが判った。



第 1 図 屋久島花崗岩のカリ長石巨斑晶の配置パターンとその分布曲線、集中型配置を示す。

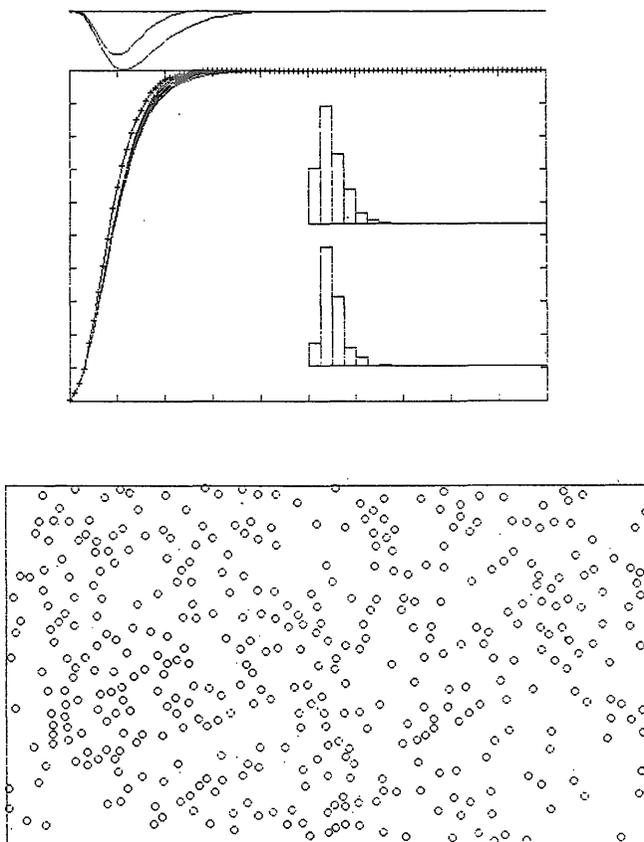


第 2 図 筑波山花崗岩のカリ長石斑晶の配置パターンとその分布曲線、ランダム配置パターンを示す。

筑波山の花崗岩のカリ長石斑晶がランダム配置するのは、当然と思えるが、屋久島の花崗岩のカリ長石巨斑晶が集中型配置するのは奇妙である。これは、花崗岩生成時の乱流の化石であると解釈する。筑波山の泥質ホルン

フェルスの黒雲母斑状変晶が規則型配置するのは、変成時に固相中で物質を取り合って、しかも、逐次添加的に成長した結果であろう。

(地質情報センター)



第3図 筑波山泥質ホルンフェルスの黒雲母斑状変晶の配置パターンとその分布曲線。規則型配置を示す。