2B−11

疑似画像を用いた自己相似性の評価とフラクタル次元

星 仰*
(茨城大学)

阿南 泰三**
(筑波大学)

1．まえがき

衛星画像内のパターン認識において、地形の形状から特徴量を抽出するための手段として幾何学的な図形で近似する方法があるが、実際に自然界に存在する形状は複雑で、円や矩形などの基本形状で近似しようとするとデータ量が膨大になり解析が困難になってしまう。対象が3次元形状ならば、なおさらである。そこで、本研究では自然形状を解析するのに有効と思われるフラクタルに着目し、地形の形状および画像濃度曲面のフラクタル次元を抽出し、その有効性について考察し検討を加える。

2．使用データ

本研究で使用したデータはパターンの形状からフラクタル次元を抽出するためのものとして、図1の疑似画像を使用し、画像濃度曲面からフラクタル次元を抽出するために図2と図3を使用する。ここで図1はスキャナで読み込んだものである。図2は千葉県柏市の、図3は千葉県沼南町布瀬の水田地区であり、それぞれ旧ソビエトのCOSMOS画像データである。

3．パターン形状におけるフラクタル次元抽出

実際の画像は厳密には自己相似性を持たないであろう。そこで、拡張されたフラクタル次元を測ることにより、フラクタル次元を抽出することが必要である。ここでは一般にBOX次元と呼ばれているものをパターン形状のフラクタル次元とする。

まず、平面を間隔rの格子によって一辺がrの正方形に分割する。そして、その平面上において対象として考えているパターンの一部でも含むような正方形の個数を数え上げそれをN(r)とする。もし、rを種々変化させたとき、

$$N(r) \propto r^{-D} \qquad (1)$$

なる関係を満たす場合、Dをそのパターンのフラクタル次元となる。

つまり、rとN(r)をlog−logプロットし、もし、プロットした点があるスケール範囲で直線上にあるのならば、その形状は自己相似性をもっていて、そのフラクタル次元は、その直線の傾きをαとすると

$$D = |\alpha| \qquad (2)$$

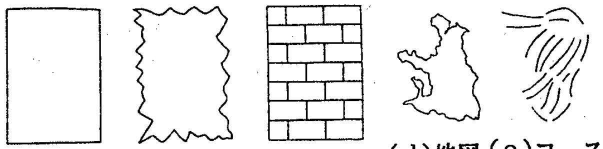
で与えられる。

次に、プロットした点が直線上にあるかどうかの目安として相関係数を用いる[5]。相関係数は−1から+1の値をとり、+1に近ければ点は正の傾きをもつ直線上にあり、−1に近ければ点は負の傾きをもつ直線上にあるということがいえる。

図1についてrとN(r)をlog−logプロットしたものが図4である。またフラクタル次元と相関係数をまとめたものが表1である。

表1から点は直線上に十分乗っているということがいえる。つまり、図1の図形は自己相似性をもつということがいえる。表1から、輪郭線が複雑で平面的に広がっているものほどフラクタル次元が大きいということがわかる。

たとえ対象物がどんな向きであろうとも、大きさに関係なくフラクタル次元は一定であるので(但し、スケール範囲は変化する)、対象とするパターンがどのような図形であるか、ある程度予想できる。例えばフラクタル次元が1ならば対象物は直線か、または輪郭線が直線であると考えることができる。



(a)矩形 (b)凹凸矩形 (c)タイル (d)地図 (e)コース

図1．疑似画像

図2．都市の画像

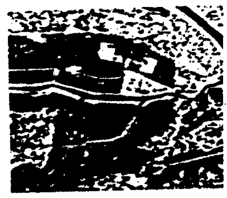


図3．水田の画像

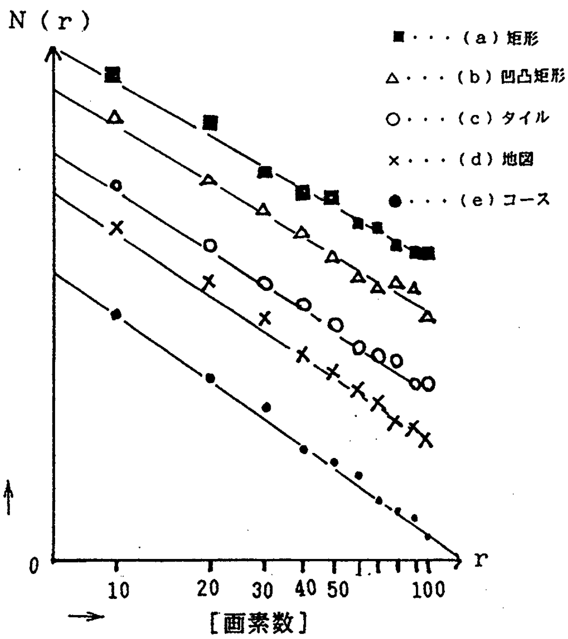


図4．疑似画像のフラクタル・プロット

表1．パターン形状のフラクタル次元

形状	フラクタル次元	相関係数
(a)矩形	1.00	-0.996
(b)凹凸矩形	1.06	-0.993
(c)タイル	1.22	-0.998
(d)地図	1.12	-0.999
(e)コース	1.19	-0.998

Estimation of Self-Similarity and Fractal Dimension using Simulated Images.

Takashi Hoshi* Taizo Anan**
*Ibaraki University **University of Tsukuba

４．画像濃度曲面におけるフラクタル次元抽出

画像濃度曲面のフラクタル次元抽出法として報告されているフラクタル・ブラウン関数により、フラクタル次元抽出を行う[1]。

フラクタル・ブラウン関数$B_H(t)$は統計的に、

$$|B_H(t+h)-B_H(t)| \propto h^H \quad (3)$$

なる性質を満足しており、$D_H=3-H$が成立している。そこで、画像濃度を表す関数を$f(x)$とすると$f(x)$が

$$|f(x+\Delta x)-f(x)| \propto |\Delta x|^H \quad (4)$$

なる性質を満たしているならば画像濃度曲面のフラクタル次元は$D=3-H$で与えられる。一定の変位$|\Delta x|$だけ離れたすべての点対について計算した濃度差の絶対値の平均値を、

$$E=|f(x+\Delta x)-f(x)| \quad (5)$$

とし、$|\Delta x|$とEをlog−logプロットしたものが図５である。ここでは、プロットした点が直線上に乗るスケール範囲（$[\Delta x_{min}, \Delta x_{max}]$）を決定するために、$\Delta x_{min}=1$から相関係数が＋０．９９以上でとりうる$\Delta x$の最大値を$\Delta x_{max}$とした。フラクタル次元、およびスケール範囲をまとめたものが表２である。

表２から水田地域のフラクタル次元の方が都市域のフラクタル次元よりも大きな値を持つことがわかる。複雑なものほどフラクタル次元が大きくなる傾向にあるが、この結果はこれに反する。ここでいうフラクタル次元はあくまで濃度差Ｅそのものの大きさによらず、その増え方で決まる。そのため、都市域の方が水田地域よりも濃度差Ｅが大きいが、その増え方が水田地域よりも小さいのでフラクタル次元が小さくなると考えられる。そこで、濃度差Ｅの大きさそのものも含めた画像濃度曲面の複雑さの尺度として新たなパラメータを導入する必要がある。式（４）に係数Ｋを与えて、

$$|f(x+\Delta x)-f(x)|=K\cdot|\Delta x|^H \quad (6)$$

とおきかえる。このとき、Ｋは濃度差Ｅが大きければ大きいほど、またＨが小さければ小さいほど（フラクタル次元が大きければ大きいほど）、大きな値をとるので画像濃度曲面の複雑さの尺度になるであろう。Ｋについても表２に追加しておいた。

５．結論

本論文では疑似画像を用いて画像の形状に着目し、フラクタル次元をＢＯＸ次元を使って抽出した。次に、ＣＯＳＭＯＳ画像データからフラクタル・ブラウン関数による画像濃度曲面の近似を行い、フラクタル次元を抽出した。そして、相関係数からパターンの自己相似性を検証し、それと同時に統計的自己相似が成り立つスケール範囲を自動的に求めることができた。相関係数を用いればプロットされた点について最小二乗法で傾きを求めるのと同時にグラフの直線度が求められる利点がある。

また、画像内の形状の実体が人工構造物なのか自然物なのかを判別する場合や、対象物がどのような形状をしているかをある程度予想するためにフラクタル次元は有効であると考えられる。

画像濃度曲面についてはフラクタル次元だけをみるよりはその係数Ｋの方が対象の複雑さをよりよく表すということがいえる。特に、分類に応用する場合には係数Ｋの方がフラクタル次元Ｄよりも有効であると考えられる。

今後の課題として、各方向ごとにフラクタル次元とＫを抽出すればテキスチャの方向性に関する情報が得られ、画像の特徴量として有効なものになるであろう。また、本研究の実験結果からフラクタル次元とＫが相殺するケースが考えられることから、これらのケースの対応も重要な研究課題となろう。

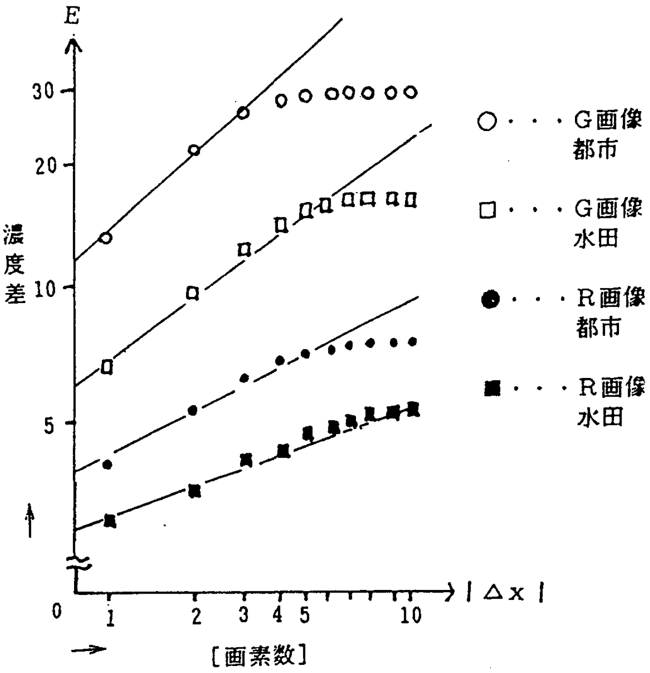


図５．ＣＯＳＭＯＳ画像の都市と水田の フラクタル・プロット

表２．画像濃度曲面のフラクタル次元とＫ

画像	バンド	D	Δx_{max}	K
都市	G	2.39	3	13.72
水田	G	2.51	6	7.00
都市	R	2.42	5	7.96
水田	R	2.60	10	5.12

【謝辞】

貴重な資料を下さった電子技術総合研究所の横矢直和氏と資源観測センターの桝田彰一氏に感謝します。

【参考文献】

1）横矢直和、山本和彦、船久保登：”フラクタルによる３次元形状の解析とその地形モデル作成への応用”、電子情報通信学会論文集、Ｖｏｌ．Ｊ７０−Ｄ、Ｎｏ．２、ｐｐ．２６０５−２６１４、１９９０．

2）桝田彰一：”フラクタル行列モデルによるテクスチャ解析”、日本写真測量学会年次学術講演会論文集、Ｅ−１、ｐｐ．５７−６０、１９９０．

3）高安秀樹：”フラクタル”、ｐ．１６、ｐ．１７４、朝倉書店、１９８６．

4）金子博：”画像特徴としてのフラクタル次元”、信学技報、ＰＲＬ８５−３０、１９８５．

5）薩摩順吉：”確率・統計”、ｐｐ．１６１−１６８、岩波書店、１９８９．

6）B.B.Mandelbrot(1982):"The Fractal Geometry of nature",chapter-34,Freeman,New York.

7）H.O.Peitgen and D.Saupe(1988):"The Science of Fractal Images",pp.49,60,Springer-Verlag.