

フラクタル次元解析法を用いたサンゴの形態比較 — 一種同定補助の可能性の検討 —

Study on possible use of fractal dimension, analysis for morphological study of coral species.

M. Ohya

はじめに

造礁性イシサンゴ類は多くの種が知られており、阿嘉島を中心とした慶良間列島海域だけでも 59 属 248 種が確認されている (林原 1995)。これらの中には、形態的に非常に似通ったものも多くある。このため、それらの種の同定には時間もかかるし、また難しい。これらの種を同定する手がかりとしては、その形態的な特徴を細かく紹介した図鑑やモノグラフもいくつかあるが、著者による主観が入りやすいため表現に曖昧な部分が少ない。そこで、そういった曖昧さを排除した同定の補助手段として、サンゴの持つ形態的な特徴を、定量化した数値で表す手段を検討してみた。

これまでの研究で、造礁サンゴの一種であるサザナミサンゴの樹状パターンに、フラクタル性があることはすでに知られている (Nakamori 1988)。その研究では、X 線によってサンゴの断面形を得ているが、今回は複雑なサンゴの形態を、特殊装置なしに非破壊で解析し定量化するために、骨格標本写真を使ってそのフラクタル次元を求めることを試みた。

材料と方法

材料は阿嘉島周辺海域で採集された *Acropora* 属で樹枝状の形態を持つ種の中から *Acropora aspera*, *A. formosa*, *A. nobilis*, *A. horrida*, *A. valenciennesi* の 5 種を用いた。解析は、これらの骨格標本写真の頂端ポリブを含む枝一本をパーソナルコンピュータ

ーに取り込んだ画像について行った。まず最初に、画像解析ソフトを使って取り込んだ画像を 2 値化し、2 値化像の枝の輪郭線の一部 (実寸でおよそ 2.5 cm 分) を取り出した (図 1)。それを、光 (写真撮影時の照明) の当たっている側と陰になっている側のふたつに分け、それぞれの輪郭線のフラクタル次元を測定した。フラクタル次元の測定には、フラクタル次元を一義的に決定できるため測定者の主観を排除でき、かつ精度が高い mPD 法 (Honda *et al.* 1991) を使用した。

結 果

1. 部位によるフラクタル次元のばらつき

種間でのフラクタル次元を比較する前に、種内での次元のばらつきをみる必要がある。まず最初に、同じ枝の輪郭線で切り取る場所を変え、部位によるフラクタル次元のばらつきをみた。なお、ばらつきをみる基準には標準偏差を用いた。

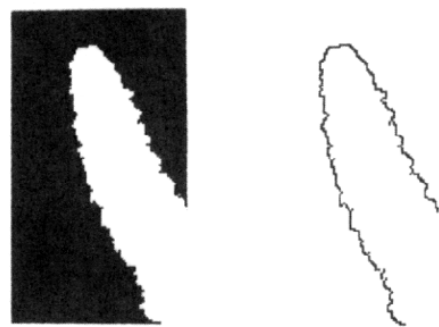


図 1. *A. aspera* の 2 値化像 (左) とその輪郭線 (右)

表 1 は、同じ枝の輪郭線について、それぞれの側で切り取る場所を変えて 3 回ずつ切り取り、各々の部位についてフラクタル次元を求め、枝ごとにその平均値と標準偏差を算出したものである。

枝ごとの標準偏差をみると、もっとも小さいのは *A. formosa* (b) の光側で 0.001、逆にもっとも大きいのは *A. valenciennesi* の陰側で 0.050 であった。
2. 撮影条件等外部要因によるフラクタル次元のばらつき

フラクタル次元を測定した写真上の輪郭線は、撮影時のライティングなどによって変化する可能性がある。そこで、同じ枝で光側と陰側の輪郭線のフラクタル次元をそれぞれ測定し、そのばらつきをみた。

各枝ごとに光側と陰側のフラクタル次元の標準偏差を比較すると、その値は *A. aspera* (b) と *A. horrida* を除くすべてで光側の方が小さかった(表 1)。また、種ごとに比較すると、*A. horrida* 以外はすべて光側の方が小さかった(表 2)。

表 1. 部位別平均フラクタル次元

種名	光側		陰側	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
<i>A. aspera</i> (a)	1.084	0.003	1.123	0.005
<i>A. aspera</i> (b)	1.084	0.007	1.084	0.004
<i>A. formosa</i> (a)	1.125	0.006	1.216	0.016
<i>A. formosa</i> (b)	1.101	0.001	1.149	0.012
<i>A. nobilis</i>	1.144	0.007	1.174	0.008
<i>A. horrida</i>	1.152	0.014	1.149	0.004
<i>A. valenciennesi</i>	1.162	0.011	1.188	0.050

※ (a) (b) はそれぞれ別の骨格標本であることを表す。

表 2. 種別平均フラクタル次元

光側	平均値	最大値	最小値	標準偏差	最大 (%)	最小 (%)	サンプル数
<i>A. aspera</i>	1.084	1.092	1.077	0.005	100.72	99.41	6
<i>A. formosa</i>	1.113	1.131	1.100	0.014	101.57	98.85	6
<i>A. nobilis</i>	1.144	1.149	1.136	0.007	100.44	99.28	3
<i>A. horrida</i>	1.152	1.168	1.141	0.014	101.40	99.04	3
<i>A. valenciennesi</i>	1.162	1.173	1.152	0.011	100.99	99.20	3
陰側							
<i>A. aspera</i>	1.104	1.126	1.079	0.022	102.05	97.81	6
<i>A. formosa</i>	1.183	1.232	1.138	0.038	104.12	96.22	6
<i>A. nobilis</i>	1.174	1.181	1.165	0.008	100.60	99.23	3
<i>A. horrida</i>	1.149	1.152	1.144	0.004	100.33	99.62	3
<i>A. valenciennesi</i>	1.188	1.220	1.130	0.050	102.72	95.13	3

※最大 (%), 最小 (%) は、平均値を 100% としたときの最大値、最小値の相対百分率を示す。

考 察

フラクタル次元の測定を行った骨格の枝の輪郭線は、写真撮影時の光の当たり具合や、その測定部位によって値にばらつきが生じることがわかったので、種間でフラクタル次元を比較する前に、これらのばらつきについて検討した。

撮影時の光の当たり具合によるばらつきは、*A. horrida* 以外は陰側のばらつきの方が大きかったが、その理由としては以下のように考えられる。

立体であるサンゴの骨格を写真撮影によって平面に写したとき、光の当たっている側に較べて影側の方が、元の輪郭線の上に骨格の他の部分の影が重なり、より複雑な輪郭線となる可能性が高い。このことは、複雑な形ほどフラクタル次元の値が大きくなることに反映されている。唯一の例外は *A. horrida* であるが、これについては、光側と陰側のフラクタル次元にそう大きな差がないこと、また、各写真ごとに光の当たり具合が微妙に違うことなどから、撮影条件からくるゆらぎのせいだと考えられる。今後サンプル数を増やし、撮影条件を完全に統一して再検討すればはっきりするだろう。

次に部位によるばらつきだが、表 2 から平均値に対する最大、最小値百分率の差を計算すると、光側はもっとも大きい幅を持つ *A. formosa* でも 2.73% であり(全種の平均は 1.87%)、種間のばらつきと較べ

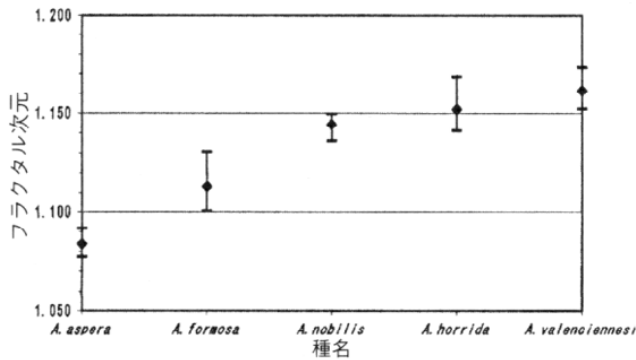


図 2. 光側の種別平均フラクタル次元
バーは、それぞれ最大値、最小値を表す。

ると非常に小さいものであった。ただし、陰側は、もっとも大きい幅を持つ *A. formosa* で 7.90%、全種の平均でも 4.30% であり、そのばらつきは大きかった。

これらのことから、骨格標本写真を使ったフラクタル次元測定法で得られた値を、種間比較の指標として用いる場合、撮影条件のばらつきの小さい光側の値が、適当であると言える。

以上のばらつきを考慮し、フラクタル次元が種同定の補助として使えるかについて検討してみた。図 2 は光側のフラクタル次元の平均、最大、最小値を種ごとに示したものである。これによると、*A. aspera* と *A. formosa* の 2 種については、他の種と重なる部分がなく容易に区別ができる。特に、形態的に非常によく似ている *A. formosa* と *A. nobilis* において全く重なる部分がなく、両者が区別ができることは注目に値する。

今回の解析は、サンプル数、種数ともに少なく、地域を慶良間列島周辺海域に限定しての解析ではあったが、この結果は、フラクタル次元が、同定の補助に役立つ可能性を示すものであった。また、撮影条件を統一する事によりばらつきを減らし、枝の輪郭線以外にも、たとえば枝の配列パターンや、ポリプひとつの輪郭など、フラクタル性があると思われる他の部位についても同時に測定することにより、1 種について複数の指標を設定すれば、種同定に、より有効な補助手段を提供できると考えられる。

今後は、サンプル数を増やすことにより、種内のばらつきの範囲を正確に限定し、また、形態的に似通った種について重点的に解析を行うことにより、この手法についてさらに検討を行い、その限界とともに有効性も明らかにしていきたい。

引用文献

- 林原 毅 1995. 慶良間列島阿嘉島周辺の造礁サンゴ類とその有性生殖に関する生態学的研究. 博士論文, 東京水産大学. 123pp.
- Nakamori, T. 1988. Skeletal growth model of the dendritic hermatypic corals limited by light shelter effect. Proc., Int. Coral Reef Symp., Australia 3 : 113-118
- Honda, E., M. Domon, and T. Sasaki 1991. A method for determination of fractal dimension of sialographic images. Invest. Radiol. 26 : 894-901