

巖島の地形とフラクタル次元

於保 幸正*

1. はじめに

巖島はこれまで多くの日本人から神の島として崇められてきた。また、明治の初期に来日した英国の特派員であるHerbert George Pontingは、自著の中で、巖島を瀬戸内海に君臨する島の女王と呼び、高く聳えた山々の輪郭を非常に魅力的なものとして賞賛している(ポンティング、1988)。人の東西を問わず巖島には景観として神の畏敬を感じさせるもの、または、美しさを感じさせるものがあるであろう。風景を好ましいと感じる素因には地形や植生などがあり、これらが複雑にからみあって、人間はその風景を美しいと感じるのである。ところで、巖島に来た人々はどの方向から眺めて、最も美しいと感じるのであるか。宮島口から船に乗って巖島に近づく際、美しいと感じるのか、あるいは広島市、例えば江波付近から遠く巖島を見て美しいと感じるのであるか。本稿ではこのような問題設定をし、いろいろな方向から眺められる巖島の地形の輪郭について、その違いを数値的な違いとして表現できないか試みた。地形を数値化するために、最近注目されているフラクタル次元に注目し、特徴的な違いをもつ4つの方向から眺めた地形の輪郭について、フラクタル次元を求めることにした。4つの方向を選択する際には、巖島の地形に大きな影響を与えている地質状況を考慮に入れることにした。考慮すべき地質状況としてはリニアメントや節理があり、これらの方向について空中写真や現地調査を行って調べた。本稿ではこれまで得られた結果について述べるが、どの方向から眺めたら最も美しいと人が感じるのかについては調べていない。また、本質的に人間が美しいと感じる大きな要素に

ついてはまだ調べていない。これらのことについては今後取り組んでいきたいと思っている。

2. 地形の概要

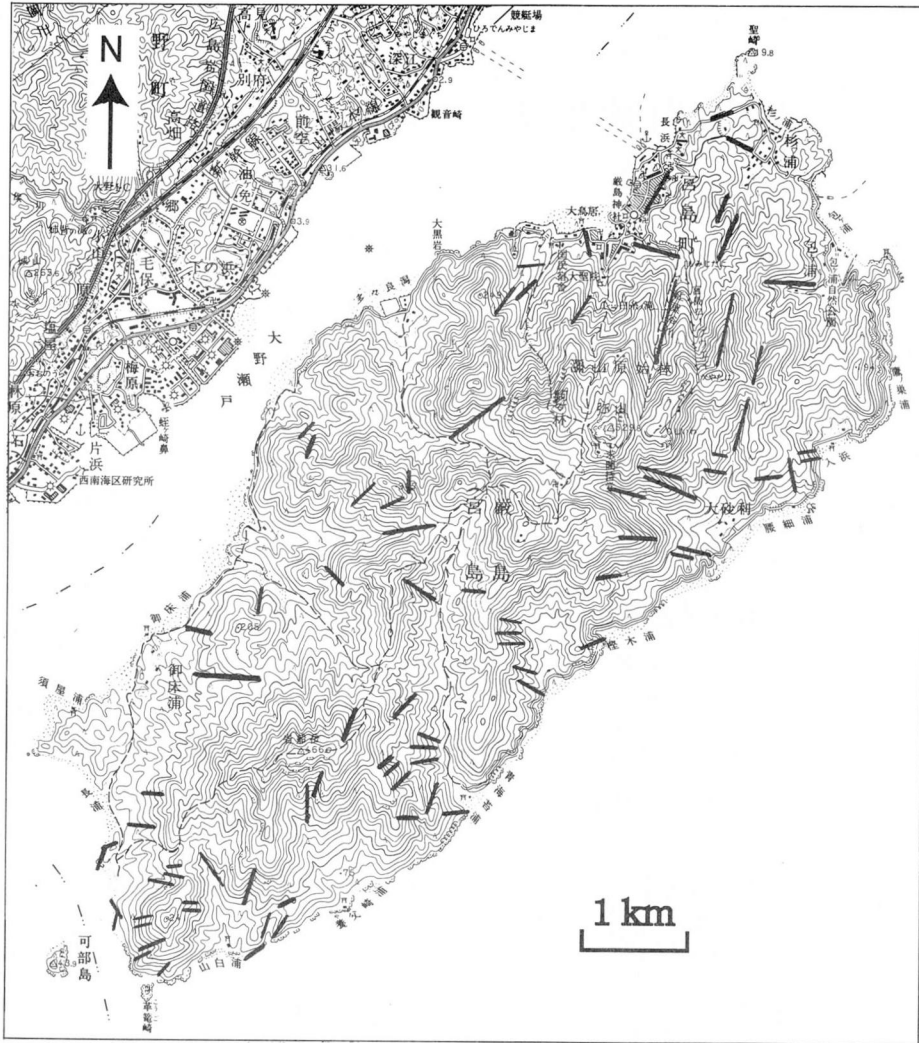
巖島は、長辺が約10km、短辺が約4kmの長方形の形をし、その長辺は北東-南西に延びた島である。巖島では、稜線は鋸歯状の地形を呈しながら、山地が海と直接に接している。島の最高峰である弥山は約530mの高度をもち、巖島の西南に位置する岩舟山では約460mの高度がある。中国地方では大きく分けて三つの高さの異なる平坦面、すなわち脊梁山地面(高位面)(高度900~1200m)、吉備高原面(中位面)(400~600m)および瀬戸内面(低位面)(約100m前後)が存在するが(今村、1959;多井、1972)、山頂付近の稜線は吉備高原面に相当する平坦面であると考えられている(楠見・岡本、1975;楠見他、1994)。巖島の北東端や西端では瀬戸内面に相当する平坦面も確認できる(楠見・岡本、1975;楠見他1994)。

稜線は鋸歯状の形をもっているが、その形はこの島を構成する花崗岩に発達した節理に大きく起因している。空中写真でみると、谷や尾根の線で現される明瞭なリニアメントは大きく3方向にまとめることができる。それらはN20-30°E、N80-90°WおよびN50-70°Eである(第1、2図)。ほぼこれらの方向に谷や尾根が延び、鋸歯状の地形をつくることになる。

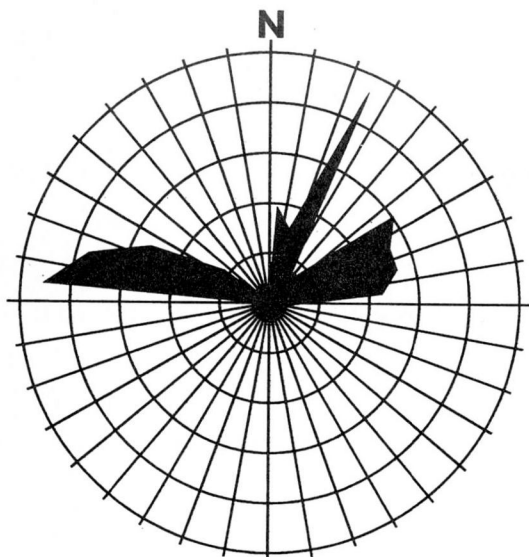
3. 地質の概要

広島県南部を中心として中国地方の南縁には、

*広島大学・総合科学部自然環境科学講座



第1図 巖島のリニアメント図（空中写真から顕著にみられるリニアメントを抽出した）



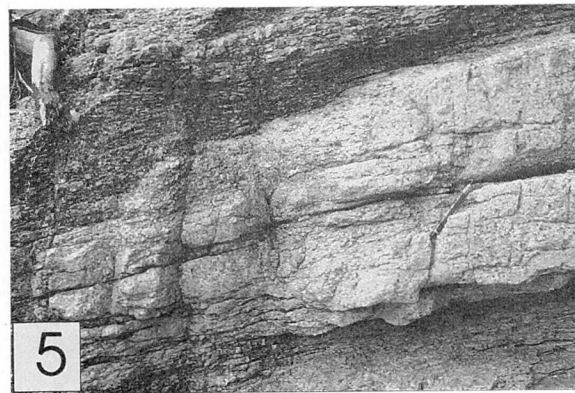
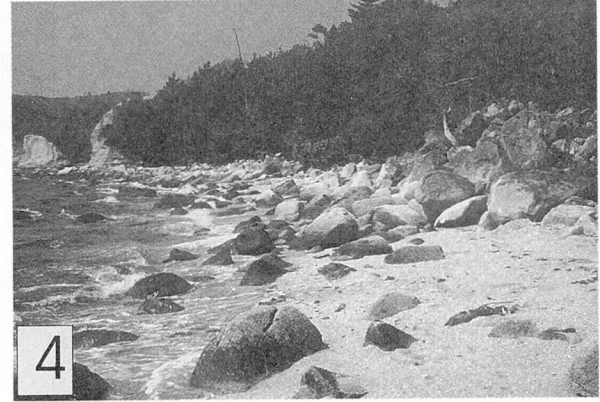
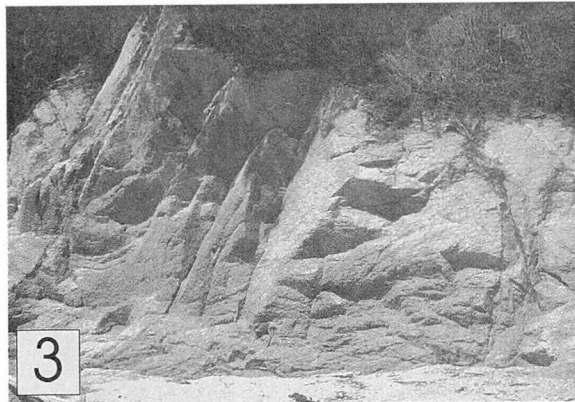
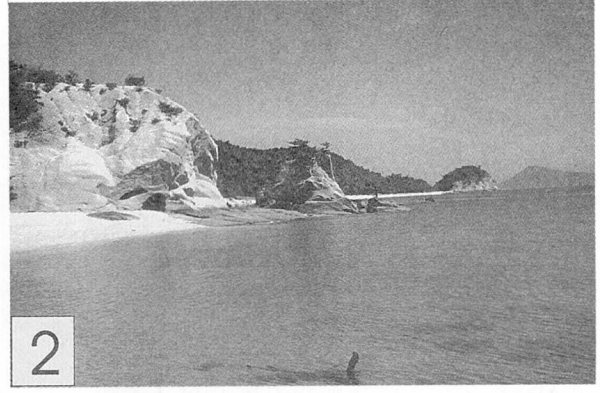
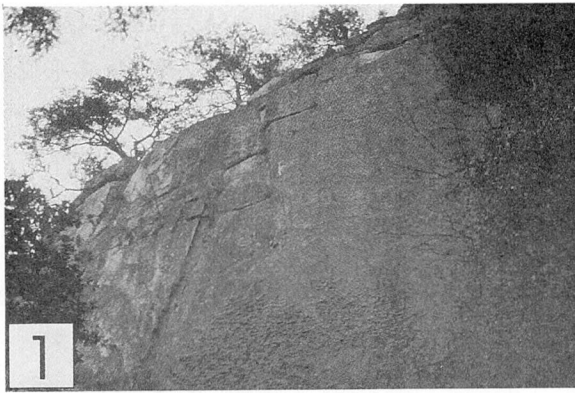
89 points

Scale of ring: 15

第2図 リニアメントのローズダイアグラム

広島花崗岩体と呼ばれる均質な花崗岩が広く分布している（木野崎他、1952；吉田、1961）。この花崗岩体は底盤状をなし、中生代後期の白亜期に形成されてたものと考えられている。巖島はこの花崗岩体分布域の中にあり、粗粒ないし細粒な優白色の黒雲母花崗岩から構成される。主要な構成鉱物は石英、カリ長石、斜長石および黒雲母であり、その他わずかであるが角閃石、ジルコン、白雲母や不透明鉱物などがみられる（吉野、1975）

花崗岩中には節理が広く発達している（第3-1・2・3図）。ステレオネットに投影して節理面の集中を統計的にみた場合、N20°Eの走向をもちほぼ垂直な面が顕著に現れていることがみてとれる（第4図）。この面以外ではN50°Eでほぼ垂直なものもや東西方向の走向をもち垂直な節理面もかなりみられる。N20°Eの走向はリニアメ

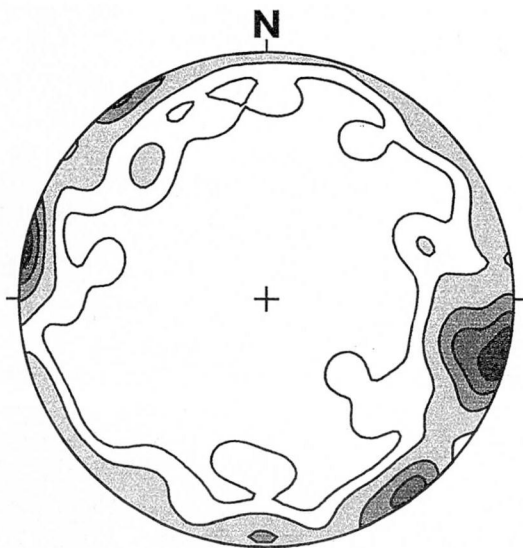


第3図 節理の写真

- 1：節理による岩壁（節理の方向はN20° E、駒ヶ林西）
- 2：節理に沿って侵食した結果形成された小島（大砂利）
- 3：花崗岩中に発達した節理（大砂利）
- 4：花崗岩のブロック群（大砂利）
- 5：マイクロシーティング（微小な割れ目は風化した部分に現れている）（榎木浦西）
- 6：マイクロシーティング（大砂利西）

ントとして顕著な方向性をもつ谷方向とほぼ一致している。例えば、紅葉谷はこの方向に約1.5kmの長さをもって直線的に伸びた特徴的な谷である。紅葉谷の西方で白糸の滝を通る谷筋では、N20° Eの走向をもつ節理が谷と平行に走っているのが観察される。これらのことから、節理は巖

島でみられる地形形成に大きな影響を与えていると考えられる。また後述するように、地すべりや崩壊などのマスウェスティングが起こる際にも節理によってブロック化した岩塊が移動したものと推定され、節理はマスウェスティングに大きな影響を与えているものと考えられる。巖島では上記



第4図 節理のシュミットネット投影図
(下半球投影)

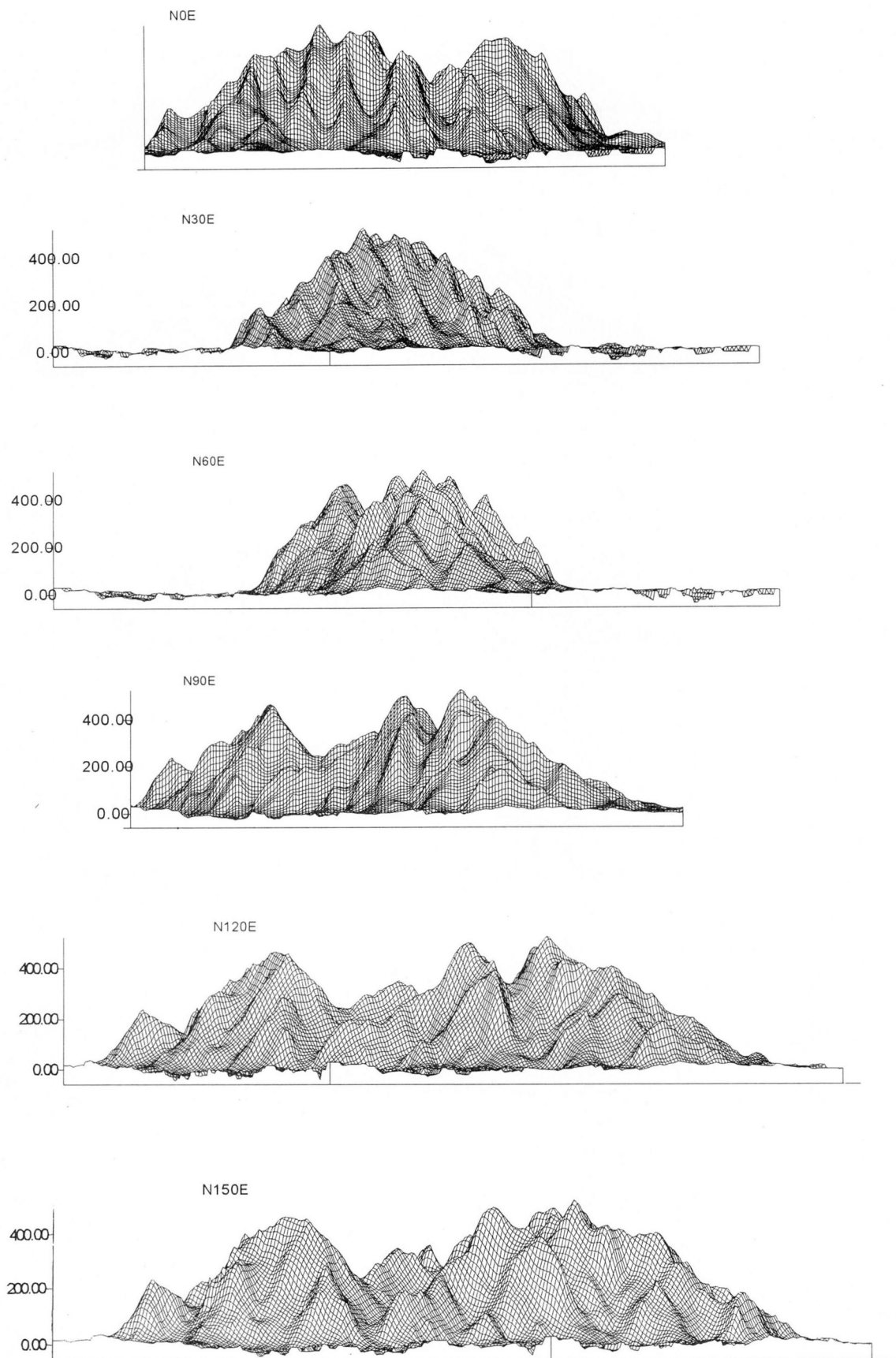
の節理とは別に、この節理形成後現れた微小な割れ目がみられる(第3-5・6図)。この微小な割れ目は1~2mm程度の間隔でほぼ水平であり、直線的か緩やかな曲線を描いている。海岸付近でみた場合、この割れ目は地形の傾斜方向にゆるく傾くことが多い。また、この微小な割れ目はやや風化が進んだ花崗岩で観察されるが、マサ化したような完全に風化した花崗岩では認められない。この割れ目は、橋川・宮原(1974)や千木良(2000)がマイクロシーティング(micro sheeting)と呼んでいるものに相当するものと考えられ、岩石の隆起に伴う圧力緩和によって形成されたものと推定される。顕微鏡下で観察した場合、割れ目は構成鉱物を切っていたり、石英とカリ長石の粒界に沿って現れていたりしている。花崗岩中には上記の節理や微小な割れ目の他に、幅の狭い岩脈が頻繁にみられ、しばしばその岩脈が粘土化しているのが観察される。

大元公園から弥山に登る登山道に沿った地域や大砂利付近のように巖島の南東の海岸線に沿った地域で、山地からの溪流が流れ込んでくる場所では、大きさが数メートルにおよぶ大きな花崗岩のブロックが数多くみられる(第3-4図)。これらのブロックには節理面としての平坦な面が観察されることもあるが、多くは角がとれた丸い形をしている。これらのブロックは山地からマスウェ

スティングによって移動してきたものと考えられる。楠見他(1994)はこれらのブロックの形成過程として、風化によって形成された花崗岩の中で新鮮な部分が波食作用によって残されたものであるとの解釈をしているが、一概に全ての地域でそのような解釈が成り立つとも考えられない。これらのブロックの存在からみて、紅葉谷で発生したような土石流のスケールをはるかに越えたスケールのマスウェスティングが島のいろいろな場所で起きたものと推測される。

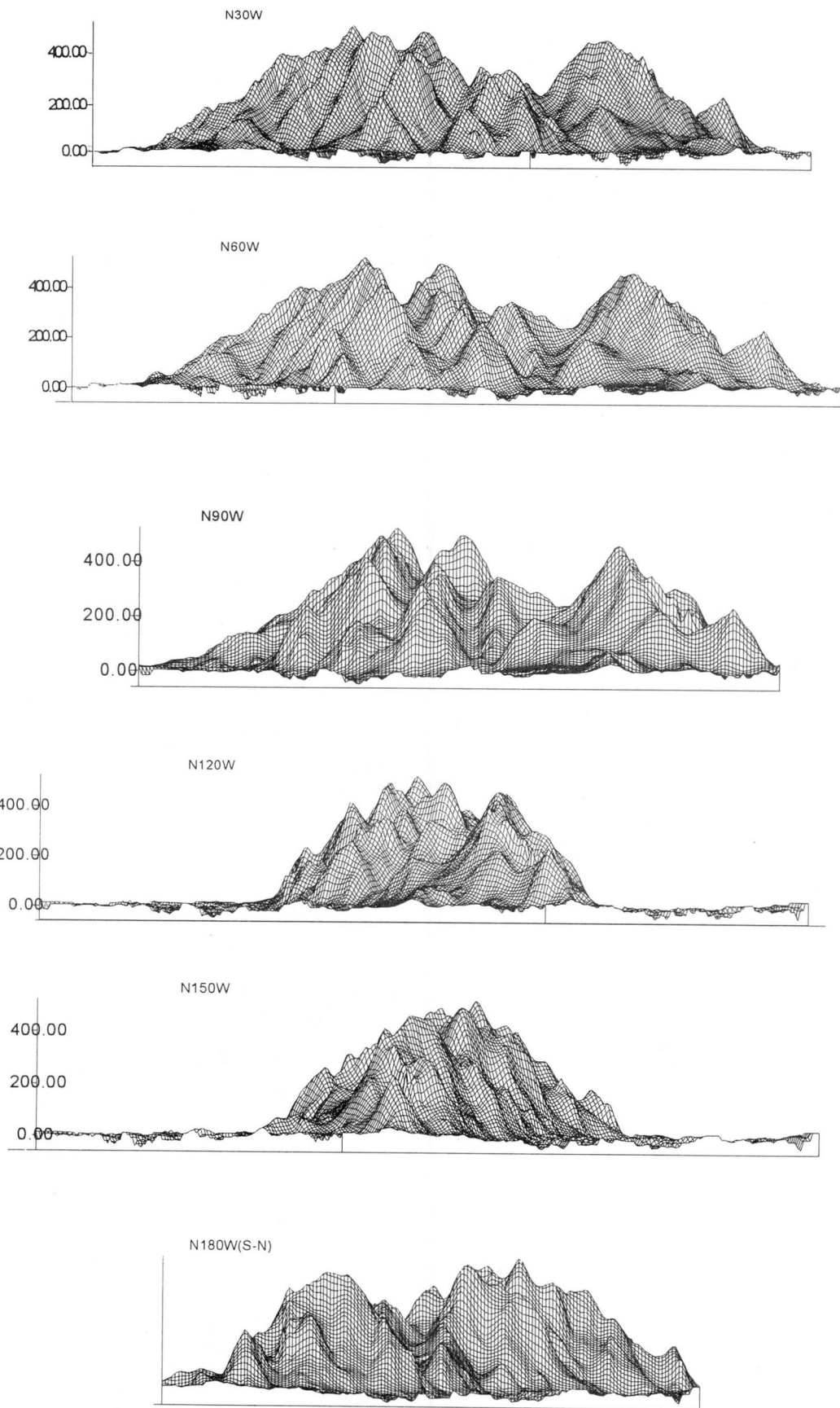
4. フラクタル次元

巖島の風景を見た場合、人間は何によってそれを美しいと感じるのであろうか。風景を構成する因子は地形や植生などがあるが、ここでは地形だけに焦点を絞って考えてみたい。特に巖島は神の島として急峻な地形をもち、それが多くの人々に“神”の印象を与えていると推測するからである。巖島は先に述べたように、長辺が約10km短辺が約4kmの長方形の形をなし、その長辺が北東-南西に延びた島である。従って、方向によっては横幅が狭くて鋸歯状の地形が強調されるように見える場合もあるだろうし、逆に横幅が長く、穏やかな地形として見える場合もある。最も好ましい地形として見える方向はどの方向であろうか。このことを理解するために、まず第一歩として、リニアメントの方向や節理の集中方向などを考慮に入れながら、巖島の輪郭だけに注目してその形を数値化することにした。形の特徴を現す量として、最近注目されているものにフラクタル次元がある(例えば、高木、1992)。フラクタル次元はフラクタル図形の複雑さの程度を定量化するための量として考えられている。なお、フラクタルの言葉は1967年にMandelbrotにより導入されたものであり(Turcotte, 1997)、フラクタル図形の意味は次のようである。マクロに見た図形と細かいレベルのミクロで見た図形とが互いに自己相似形をもっている、あるいは自己相似な形が保存されている場合をフラクタル図形と呼んでいる。自然界には海岸線や河川の形などフラクタル図形とみなせる



第5図 異なる方向からみた巖島の地形(1)

上より下へ、北から、N30° Eから、N60° Eから、N90° E(東)から、N120° Eから、N150° Eからみた地形



第6図 異なる方向からみた巖島の地形(2)

上より下へ、N30° Wから、N60° Wから、N90° W(西)から、N120° Wから、N150° Wから、N180° W(南)からみた地形

ものが数多く存在している。特に地形の場合には、フラクタル次元はその地域の風化や侵食の様子を表現することになる。なお、海岸線や河川の形について求められているフラクタル次元は $1 < 2$ の間にあり、1次元と2次元の中間の性格をもつことを意味している。

巖島を色々な方向から眺めた地形を得るために、地形のデジタル化を行った。すなわち、2.5万分の1の地形図において巖島を5mm間隔のメッシュで区切り、各格子点の位置とその高さをコンピュータに入力して地形をつくった。その地形を回転させることによって各方向から眺めた地形を求めた(第5、6図)。その際、地形断面の縦横比を1:1とせず、3.7:1として縦方向を強調した。これは、例えば宮島口から巖島に舟で渡る場合、1:1の縦横比として人は見るよりも、下から見上げることにより、縦方向が強調されると考えたことによる。ただし、上記の縦横比が妥当な値であるかは、今後吟味する必要がある。なお、地形のフラクタル次元を求めると共に、巖島の海岸線のフラクタル次元も併せて求めた。実際にフラクタル次元を求める際にはTurcotte(1997)に記載されているThe box-counting method (Pfeiffer and Obert, 1989)の方法を使って求めた。すなわち、求めたい図形の上で、長さ(r)が異なる正方形の格子をつくり、海岸線ないし地形の境界線が通る正方形の数(N)を数えて、以下の式からフラクタル次元を求めた。

$$N = \text{定数} \times r^{-D} \quad (1)$$

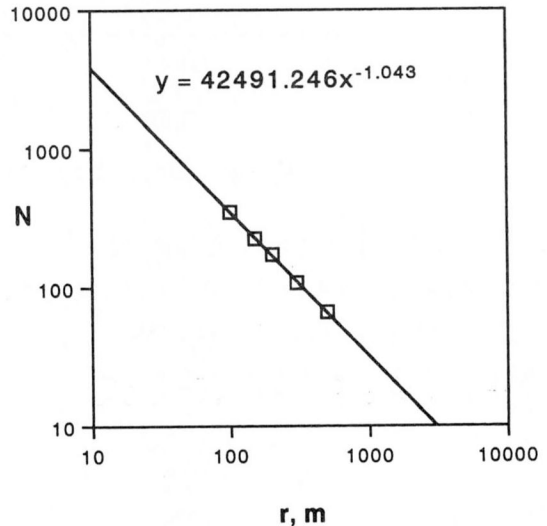
ここでDがフラクタル次元を現すことになる。

フラクタル次元を求める際、眺める方向として

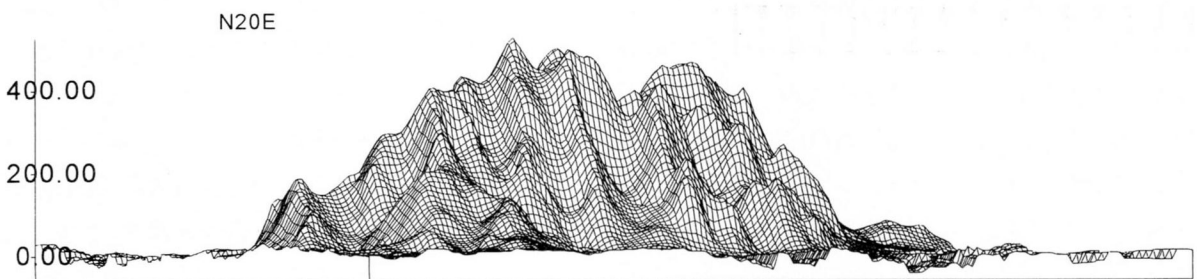
は次の4つの方向を選んだ。(1)北から20°東の方から見た場合(第7図)、(2)北から30°西の方から見た場合、(3)北から南を眺めた場合および(4)西から東を眺めた場合である。(1)の方向は谷や尾根で表現されるリニアメントが卓越する方向であり、また節理が最も多く発達する方向でもある。一方(2)の方向はリニアメントや節理がほとんど発達していない方向である。(3)の方向は巖島を訪れる多くの人々が眺める方向である。(4)の方向ではリニアメントが発達し、節理もやや発達する傾向がある。この4方向に加えて、巖島の海岸線についてのフラクタル次元を求めた。

Nとrの値を両対数グラフにプロットすると、いずれの場合も右下がりの直線的な関係が得られた。その結果、フラクタル次元としては、巖島の海岸線では1.04を得た(第8図)。また、4方向から眺めた地形の輪郭については、フラクタル次元

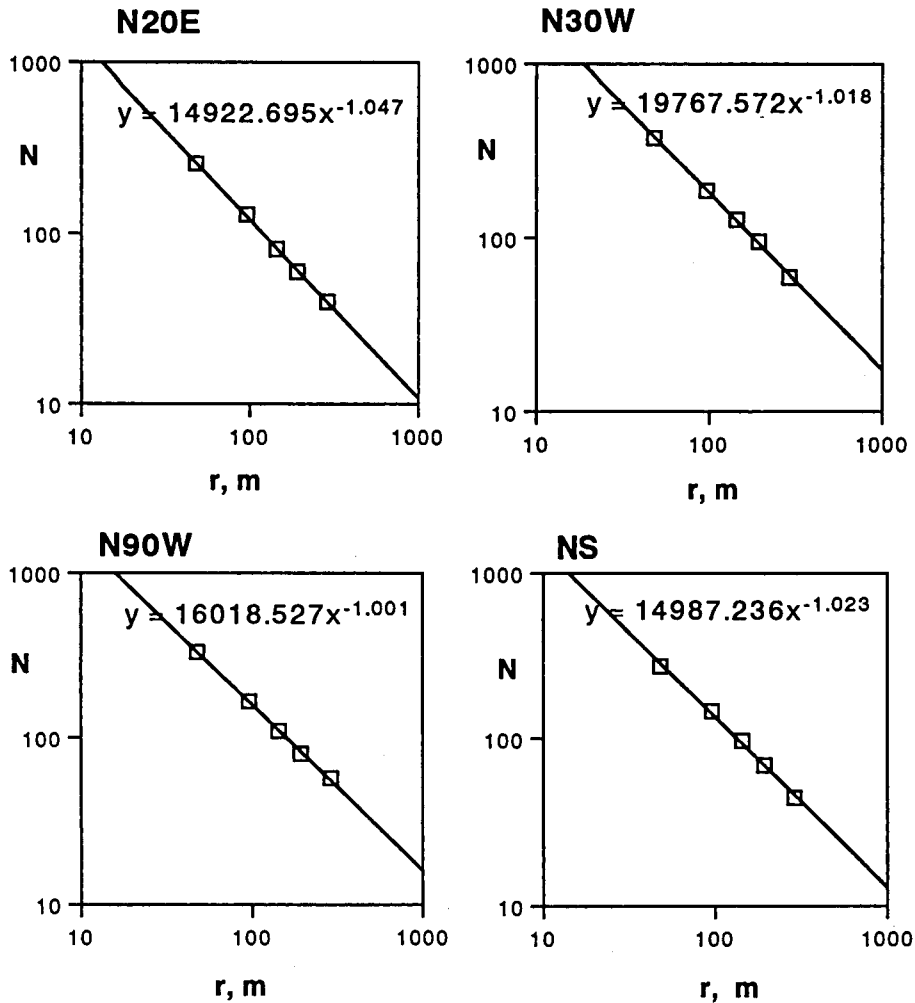
巖島の海岸線



第8図 巖島の海岸線で求めたNとrとの関係



第7図 N20°Eから眺めた地形



第9図 異なる4方向の地形の輪郭で求めたNとrとの関係

として(1)北20°東の方から見た場合1.05、(2)北30°西から南方をみた場合1.02、(3)北から南を向いた地形では1.02、(4)西から東を眺めた場合1.00を得た(第9図)。

5. 考 察

巖島の海岸線および4つの方向から眺めた地形についてNとrの関係を両対数グラフのプロットすると(1)式を満足する結果が得られた。このことから巖島の地形についてもフラクタル図形であることが確認された。ただ海岸線で得られたフラクタル次元は1.04であり、他の地域例えば石巻から宮古にかけて求められている値(1.35)(高木、1992)よりは1次元に近い値を取っている。これは、地形が石巻から宮古にかけてみられるリアス式海岸よりは複雑性に乏しく、1次元に近い図形

であることを意味するものである。すなわち、三陸海岸では地質構造や分布する岩石種も複雑であるのに対し、巖島は花崗岩という単一の岩石によって構成されていることによるのであろう。

4方向から眺めた地形の輪郭についても海岸線とほぼ同じ値かやや小さい値であった。地形の輪郭について求められたフラクタル次元と海岸線でのそれとの関係については地形の形成過程がほぼ同じであることから近い値を取ることは予想される。しかしながら、これ以上の関係については詳しく調べていないので不明である。他の地域との比較が必要であろう。

4方向から眺めた地形の輪郭についてフラクタル次元を求めようとした理由は地形を数値化し、人間が好ましいと思える地形の輪郭との対応を求めることにあった。少なくともフラクタル次元としては眺めた方向によって地形の輪郭の違いを数

値で明らかにすることはできそうである。しかしながら、どの方向から眺めた地形を人間が美しいと感じるかについて評価することはまだできていない。ただ漠然と、凹凸が明瞭に現れる方向から眺める際、人間はその眺めをある程度好ましいと感じるのではないかと考え、谷や尾根で現されるリニアメントや節理の卓越方向である北20°東およびそれらが不明瞭な北30°西から眺めた地形についてフラクタル次元を求めた。前者の方向で得られたフラクタル次元は4方向の中で当然ながら最も大きな値を示している。今後、どの方向から巖島を眺めた方が最も美しいと感じるか調査する必要がある。また、いくつかの場所についてフラクタル次元と実際に人間が見て感じる美しさとの関係について調べることも考えなければならないであろう。その際は、フラクタル次元を地形の輪郭としてではなく、3次元的な広がりの中を定める必要がある。

6. ま と め

巖島をどの方向から眺めたら最も好ましいと感じるのか、このことを明らかにする最初の段階として、海岸線のフラクタル次元と4つの方向から眺めた地形の輪郭についてフラクタル次元を求めた。海岸線のフラクタル次元は1.04であり、北から南を向いて眺めた地形では1.02、北20°東の方から南方を見た場合1.05、西から東を眺めた場合1.00、北30°西から南の方を見た場合1.02であった。方向の違いによる地形の輪郭の違いを数値的に現すことは可能であると考えられる。今後実際に人間が眺めた美しさをどう表現するかが問題として残る。

謝 辞

総合科学部(現在新日本グラウト株式会社)の新宮原充氏には地形データのパソコンへの入力を行って頂いた。また、総合科学部の津島淳生氏には多くの御助言を頂いた。記してお礼を申し上げます。

文 献

- ポンティング, H., (長岡祥三訳) 1988, 英国特派員の明治紀行. 新人物往来社, p.217.
- 千木良雅弘, 2000, 1999年広島豪雨災害の地質的素因—花崗岩のマイクロシーティング—, 第3回岩石の風化に関するシンポジウム報告集.
- Turcotte, Donald L., 1997, *Fractals and chaos in geology and geophysics*, Cambridge University Press, p.398.
- 橋川邦武, 宮原健二, 1974, 風化花こう岩類の構造とその工学的意義について(その1). 応用地質, 15, 47-57.
- 今村外治, 1959, 中国山地の地質概観. 中国山地国定公園学術調査報告, 17-28.
- 楠見 久, 吉野言生, 吉村典久, 片山貞昭, 1994, 宮島の自然—地形・地質編—, 宮島町教育委員会, p.230.
- 楠見 久, 岡本和夫, 1975, 巖島(宮島)の地形. 天然記念物弥山原始林・特別名勝巖島緊急調査委員会, 「巖島の自然」, 11-33.
- 多井義郎, 1972, 中新世以降における中国地方の地殻変動について—Structure Contour Mapを中心として—. 広島大学教養部紀要Ⅲ, 5, 25-34.
- 高木隆司, 1992, 形の数理, 朝倉書店, p.168.
- 吉野言生, 1975, 巖島(宮島)の地質—花崗岩類. 天然記念物弥山原始林・特別名勝巖島緊急調査委員会, 「巖島の自然」, 35-41.
- Pfeiffer, P. and Obert, M., 1989, *Fractals: Basic concepts and terminology. in the Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry*, D. Avnir, ed., 11-43, John Wiley & sons, Chichester.
- 木野崎吉朗, 1952, 中国地方の花崗岩とタングステン及びモリブデン鉱床について. 広大地研報, 3, 61-76.
- 吉田博直, 1961, 中国地方の後期中生代の火成活動. 広大地研報, 8, 1-40.