

G I S・3 D画像解析によるフラクタル次元と環境認知との相関に関する研究 —伊豆・房総半島における沿岸漁村地域の考察—

日大生産工(院) ○蝶名林 秀明
日大生産工(院) 根来 宏典
日大生産工 大内 宏友

1. 研究の背景と目的

フラクタルは、部分と全体が相似であるという自己相似性であり、自然界に潜在する複雑な構造や性質を表す概念である。1975年B.Mandelbrot¹⁾によって提唱され、これまで樹形や海岸線、脳波などを用いて多くの研究がなされている。これらは幾何学的考察に基づくものであるため、写真・地図等の2次元による分析が主体となされてきている。しかし本来、自然界に潜在する複雑な構造の解明を目的とするならば、3次元による空間的考察を行わなければ、実行力のある成果は得られないと考えられる。近年の高度な画像処理による空間情報技術の発達、今後の都市・地域計画の分野において新たな進展をもたらすものと言える。

これまで筆者らは、沿岸漁村地域を研究対象に、人間主体と環境との問題や概念に内在する秩序や普遍性、法則性を見出すことを目的に、環境を認知するということに対し、圏域的な面からアプローチすることにより、周辺環境と地域空間との関係性から住民のもつイメージ構造を明らかにしてきた²⁾³⁾。以上を踏まえ、本研究では、地域住民の環境認知による沿岸漁村地域の空間構造を明らかにするため、地域住民の視点に立脚した3次元空間情報を包含する3次元陰影画像を用いた可視領域のフラクタル性について分析・考察する。

2. 研究概要

2.1 分析対象地域

本研究は、房総・伊豆半島全域の沿岸漁村地域を対象(全59地域)に、地域住民のとらえる環境認知を明らかにするため、現地においてアンケート調査を行った。被験者は中学生以上の居住者(外来者を除く)とし、調査員は、アンケート記入用紙と1/5000白地図を使用し、基本的にアンケート用紙は調査員が記入し、白地図は被験者に記入してもらった。その結果、房総半島で29地域651サンプル、伊豆半島で30地域710サンプルが得られた。分析対象地域を表1に、調査方法を表2に示す。以上の調査より得られた認知領域図の一部(例:石部集落)を図1に示す。

表1 分析対象地域

調査対象地域	房総半島(29地域)														伊豆半島(30地域)																		
	1	銚子	9	豊浜	17	白子	25	金谷	30	熱海	38	稲取	46	妻良	54	宇久須	2	外川	10	川津	18	中央	26	萩生	31	網代	39	坂戸	47	西子浦	55	八木沢	
	3	飯岡	11	大沢	19	富崎	27	竹岡	32	宇佐美	40	須崎	48	雲見	56	土肥	4	片貝	12	鴨川	20	船形	28	佐貫	33	伊東	41	下田	49	石部	57	西浦	
	5	太東	13	浜波太	21	富浦	29	大貫	34	富戸	42	田牛	50	岩地	58	内浦	6	大原	14	天面	22	高崎			35	八幡野	43	下流	51	松崎	59	静岡	
	7	岩和田	15	太夫崎	23	勝山			36	北川	44	石廊崎	52	田子			8	御宿	16	江見	24	保田			37	片瀬	45	中木	53	安良里			

表2 調査方法

方法	アンケート調査	期	房総半島:1998年7~8月・10月、1991年7月、1995年10月
内容	①属性調査 ②まち、海、山の認知領域 ③認知領域構成要素調査 ④ランドマーク調査 ⑤ディストリクト調査 ⑥日常ルート調査 ⑦生活行為ごとの空間利用状況調査 ⑧施設分布状況調査 ⑨水路配置形態調査 ⑩文献調査	間	伊豆半島:1998年6月・8~9月、1991年7月、1995年9月

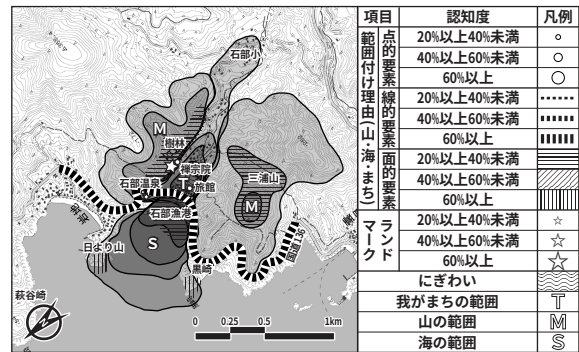


図1 認知領域図(例:石部集落)

2.2 分析方法

分析の順序は以下の通りである。

- ①まず、フラクタル次元解析に用いるためのデータとして、可視領域の設定を行い、3次元陰影画像を作成する(3章)。
- ②ボックスカウンティング法により、上記①より得られた画像のフラクタル次元を求める(4章)。
- ③分析対象の59集落についてフラクタル次元の連続性(推移)より分類し、各T Y P E毎の特徴を考察する(5章)。

3. 可視領域の設定

地域を構成している物理的(地形)環境と地域住民の視認域との関係より、その地域の景観認知による可視化モデルを構築する。DEM(Digital Elevation Model: 数値標高モデル)によるGISデータより得られた3D地形モデルに対して、対象とする地域の中心に点光源を設置し、光の広がりによる3次元陰影画像を用いた可視領域の設定をする。

3.1 可視領域の基準点

本研究では、地域住民の視点に立脚した景観認知の可視化モデルを構築するため、地域空間における「にぎわいの領域」の中心を可視領域の基準点と設定する。調査内容の内、⑤ディストリクト調査は、被験者に「どこが『にぎわい』(にぎわっている)と思いますか」と問い、その領域を地図上に囲ってもらっている。ディストリクトは地域空間を特徴づける領域であり、本稿ではこの「にぎわいの領域」を地域空間における住民の可視領域の基準点とする。

Study on Correlation with Fractal Dimension and Environmental Recognition in GIS, 3D Image Analysis

— Consideration in Coastal Fishing Villages in Izu and Boso Peninsula —

Hideaki CHONABAYASHI, Hironori NEGORO and Hiroto OUCHI

3.2 視覚範囲・距離

人は、視力、天候、対象物の大きさ・色・コントラスト、心理状況など、様々な状況に応じて視覚範囲・距離が変化する。よって本稿では、可視領域を設定する際、以下の既往研究を総体的にとらえ、半径1800mと仮定する。

- ①P.THIEL⁴⁾は、物的空間の記述とスケーリングについて3次元考察(空間の明瞭度・閉鎖度)を行い、距離のグレーディング(表3)を提示している。その中で、Aerial Space No.8を750~1800m(人を見ることが出来る最大距離は1200m)と設定している。
- ②芦原義信⁵⁾は、外部空間の構成を考察し、建築群としてよく見える水平距離を1200mまでとしている。
- ③吉阪・藤井ら⁶⁾は、圏域的計画論を述べ、標準的な圏域構成として基礎集落圏を半径1~2kmと設定している。
- ④筆者ら⁷⁾は、アンケート調査より得られた被験者1361人のデータをもとに、人間の認知しうる近隣に対する面積、周辺自然環境の規模を、地域住民における海、まち、山の認知領域の規模より求めている。被験者の98%以上は我がまちの認知領域の広さを100ha以内、海は110ha以内、山は120ha以内の範囲としている。円の半径に換算すると、まちは564m、海・まち・山の合計は1774mである。

3.3 3次元陰影画像による可視領域の設定

3.3.1 3Dメッシュデータの作成

国土地理院刊行のGISデータから作成した数値地図50mメッシュ標高データを3DCGソフトで読み込み、3Dデジタルモデルを作成した。3Dデジタルモデルのサイズは、前項の視覚範囲・距離より、半径1800mの円を内包する3600m×3600mとする。

3.3.2 光源設定

光源と3Dデジタルモデルの関係を図2に示す。アンケート調査の結果より得られた「にぎわいの領域」を中心(基準点)とし、人の目線の高さ(1.6m)に点光源を設置する。点光源の減衰について、光の減衰始点は選定したグレーディングの最小半径(中心より750m)とし、減衰終点は3Dデジタルモデルの内接円(1800m)とする。

減衰度は人間の視覚的認知に近似である逆二乗減衰度を適用した。また、点光源の鉛直真上方向にカメラを設置し、3Dデジタルモデルに対して水平投影になるよう視点を設定する。この設定条件の下、カメラの視点においてレイトレースレンダリングを行い、1024Pixel×1024Pixelの8bitグレースケール陰影画像を作成する。

表3 調査内容

ZONE	No.	範囲の限界	
Local Space	0	0~1.8m	1.8mは行動し得る最小の寸法
	1	1.8m~4.5m	2.1~3.6mは打ち解けた会話の距離
	2	4.5m~10.0m	12mは表情を識別し得る限界(HALL)
	3	10.0m~24.0m	パブリックデスタンスの遠い段階は9mから始まる(HALL)24mは顔の認知の限界(SCR)
	4	24m~60m	
Aerial Space	5	60m~135m	地中海都市の広場の平均的大きさ 57×140m(GITTE) 135mは動きの識別限界(SCR)
	6	135m~300m	
	7	300m~750m	
	8	750m~1,800m	人を見ることが出来る最大距離は1200m(SCR)
	9	1,800m~4,500m	4500mは眼高1.65mの地平線の距離(U.S.H.O.)
	10	4,500m以上	

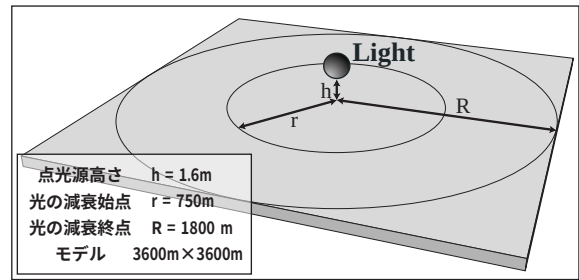


図2 光源の設定

3.4 2値画像の作成

3.4.1 2値化処理

ボックスカウンティング法によりフラクタル次元を測定するため、グレースケール陰影画像を2値化処理し、濃度が0または1の2値画像(モノクロ画像)を作成する。

3.4.2 しきい値の検討

2値化処理のしきい値を決定するため、起伏の無いモデルを作成し、前項と同様に光源を設定してグレースケール陰影画像を作成する。

1~16のしきい値で2値化処理し、白と黒の両方のピクセルを含む輪状の部分の幅(W)を測定する。この輪状の部分は、8bitグレースケールで表現し切れなかった部分であると共に、ボックスカウンティング法でのフラクタル次元解析に大きな影響を与えるため、図3に示すように、この幅が狭くなり、なおかつ白の範囲が狭くなり過ぎない6をしきい値とする。

以上の手順により得られた、3次元陰影画像であるグレースケール画像と2値画像を図4に、可視化モデルを図5に示す。

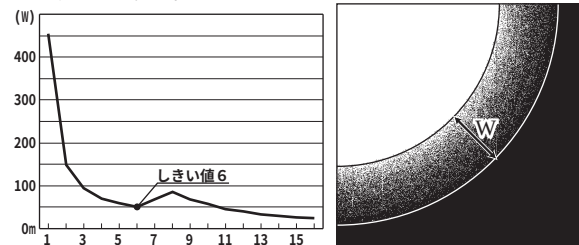


図3 しきい値の検討



図4 3次元陰影画像(例:石部集落)

4. フラクタル次元

4.1 ボックスカウンティング法

フラクタル次元の定義はいくつか存在し、代表的なものとして相似次元、測定次元、被覆次元、容量次元などが挙げられる。被覆次元は相似次元と測定次元の関係により求められ、容量次元は測定次元と被覆次元を拡張させた考え方である⁸⁾。

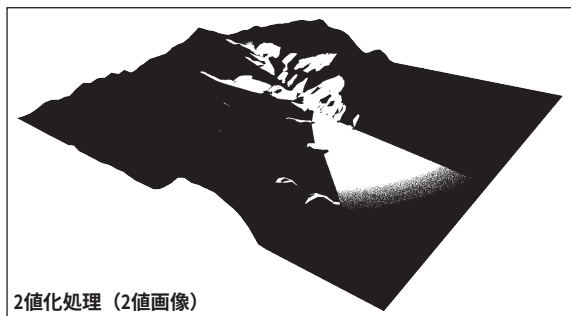


図5 可視化モデル(例:石部集落)

本研究で用いるボックスカウンティング法によるフラクタル次元解析は、解析対象画像の複雑性を容積次元として算出するものである。具体的には、フラクタル次元解析は2値画像に含まれる白色Pixelの数をカウントすることで行われ、1～2のフラクタル次元を示し、値が大きいほど、一般に複雑性が高いとされる。

2値画像を一边 r 画素の正方形で被覆する時(図6)、対象とする画素数を含む正方形の個数を画素間隔 r ごとに $N(r)$ とすると、以下のような式が成り立つ⁹⁾。

$$N(r) \cdot r^D = C \cdots \cdots (1)$$

ここで、 C は定数であり、この時の D がフラクタル次元となる。また、式(1)を変形すると

$$\log N(r) = \log C - D \log r \cdots \cdots (2)$$

となる。フラクタル次元 D は、 $\log r$ と $\log N(r)$ の直線の傾きであり、最小二乗法により推定することができる。また、得られた回帰直線が良好な直線性(決定係数が高い)を示す時に解析対象画像のフラクタル性をもつことが確認することができる。

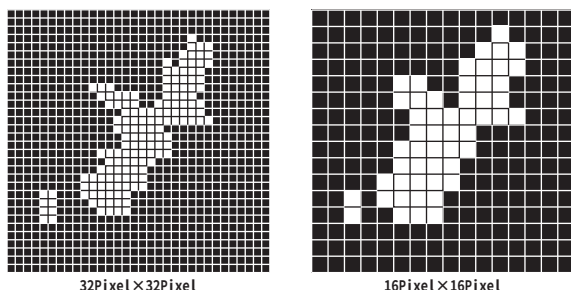


図6 ボックスカウンティング法(例:石部集落)

4.2 フラクタル次元解析結果

分析対象の59集落について、フラクタル次元解析を行った結果、1.5072～1.8097のフラクタル次元が得られた。以下に石部集落を例として得られた結果を説明する。

ボックスカウンティング法を用いる際、陰影画像の白い部分(可視領域)をカウントした。表4に示すように、陰影画像を被覆するボックスサイズ r の初期値を3600m/1024Pixel(約3.5m)とし、2の乗数倍ずつ増加させた時の $\log r$ 、 $\log N(r)$ を求めた。

図7は、 $\log r$ 、 $\log N(r)$ の推移を回帰分析によって求めたものである。一边のピクセル数が1024～16Pixelにおいて自己相似的な構造のフラクタル次元の連続性を保ち、16Pixelを境に連続性を失っている。この時、一边のピクセル数が1024～16Pixelの範囲においてフラ

表4 ボックスカウンティング法における $\log r$ 、 $\log N(r)$ の推移

一边のピクセル数	ボックスサイズ r	自己相似量 $N(r)$	$\log r$	$\log N(r)$
1024	3.5m	66402	0.55	4.82
512	7.0m	17548	0.85	4.24
256	14.1m	4820	1.15	3.68
128	28.1m	1399	1.45	3.15
64	56.3m	441	1.75	2.64
32	112.5m	150	2.05	2.18
16	225.0m	53	2.35	1.72
8	450.0m	22	2.65	1.34
4	900.0m	10	2.95	1.00

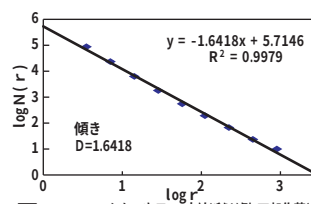


図7 フラクタル次元の直線近似(例:石部集落)

クタル次元 D である直線の傾きが-1.6418を示し、決定係数は0.9979と高い値を示した。

5. フラクタル次元の連続性による考察

本研究ではフラクタル次元の傾向を考察するため、以下の考えに基づき、クラスター分析を用い分類する。

5.1 各ボックスサイズ間の分析

ボックスカウンティング法によるフラクタル次元解析で各ボックスサイズ間のフラクタル次元を測定し、その変化を分析する。図8は59地域のフラクタル次元の変化を示している。一般的な傾向として、一边のピクセル数が16～4pixelの区間においてフラクタル次元は連続性を失っていることがわかる。よって1024～16pixelの区間でのフラクタル次元を用いる。(図8に示すように中木は他の集落と変化の様相が著しく異なるため、分析より除外する。)

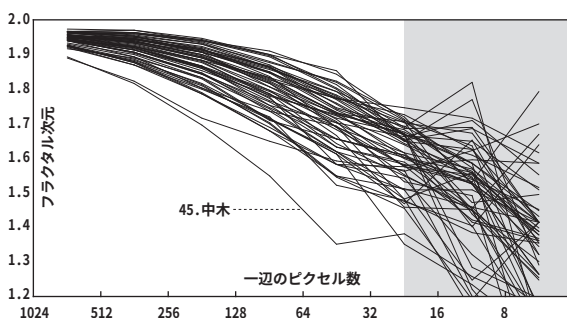


図8 フラクタル次元の変化

5.2 フラクタル次元の連続性による集落の分類

フラクタル次元の変化量(図9)を求め、多次元データとし、集落間のユークリッド距離をもとにクラスター分析(ウォード法)を行った。その結果、フラクタル次元の連続性として4つの傾向を読み取ることができた。以下に、フラクタル次元解析により得られたタイプ毎の特徴を整理する。

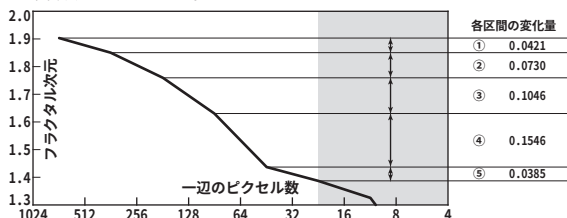


図9 フラクタル次元の変化量(例:石部集落)

【TYPE①】ボックスサイズが大きくなるにつれ、フラクタル次元の減少する幅が大きくなる特徴を持つ地域である。図10にフラクタル次元の推移を示す。

【TYPE②】一边のピクセル数が64～16pixelの区間

でフラクタル次元が急に減少している特徴を持つ地域である。図11にフラクタル次元の推移を示す。

【TYPE③】ボックスサイズが大きくなるにつれ、フラクタル次元が一定の幅で減少し、比較的の高いフラクタル次元の特徴を持つ地域である。図12にフラクタル次元の推移を示す。

【TYPE④】一辺のピクセル数が128~32pixelの区間でフラクタル次元が急に減少しているが、64~16pixelの区間では減少の幅が少なくなっている地域である。図13にフラクタル次元の推移を示す。

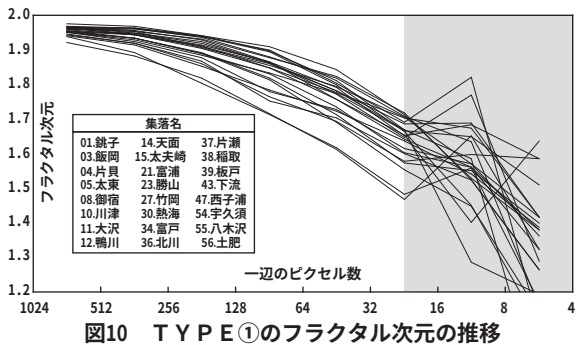


図10 TYPE①のフラクタル次元の推移

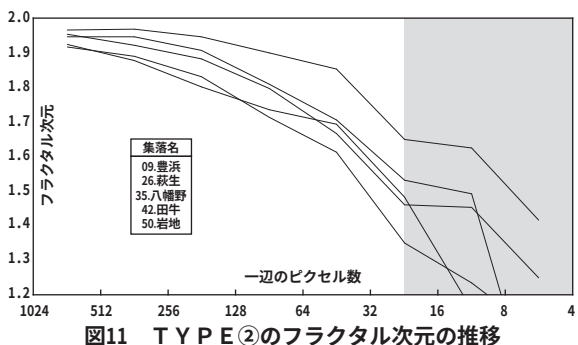


図11 TYPE②のフラクタル次元の推移

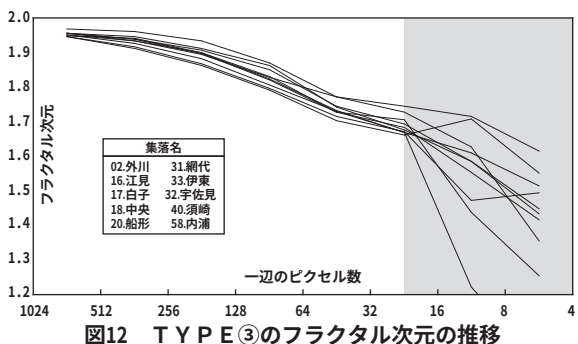


図12 TYPE③のフラクタル次元の推移

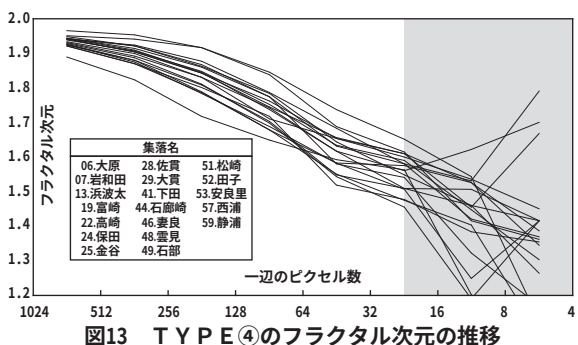


図13 TYPE④のフラクタル次元の推移

6. まとめ

以上のことより、海・まち・山が一体として成り立ち、複雑な地形をもつ沿岸漁村地域を対象とし、3次元陰影画像を用いた可視領域のフラクタル性を説明するとともに、フラクタル次元として定量化することができた。また、フラクタル次元解析によるディテールの連続性により、分析対象とした集落を4つのTYPEに分類し、そのTYPE毎の特徴を把握することもできた。

ボックスカウンティング法におけるフラクタル次元解析では、全体のフラクタル次元だけでなく、ボックスサイズを大きくする過程でのフラクタル次元の連続性の様相により、分類された集落のまとまりは、類似の構造をもっていると考えられる。よってその意味関連構造を明らかにすることができれば、今後の都市・地域計画の分野における新たな可能性を持つ有効な手法論に成り得ると考えられる。

なお今後の展開として、本研究より得られた成果をもとに、フラクタル次元と環境認知の調査より得られた空間構造の「わかりやすさ」や「多義性」などとの相互の関係性について報告する予定である。

【参考文献】

- 1) Benoit B. Mandelbrot: The fractal geometry of nature, W.H. Freeman and Company, 1977、広中平祐監訳：フラクタル幾何学、日経サイエンス社、1985
- 2) 根来宏典, 大内宏友：環境認知による沿岸漁村地域における複合圏域の形成プロセス—地域住民における環境認知にもとづく計画圏域の設定—その1—日本建築学会計画系論文集、第573号、PP.63~70、2003.11
- 3) 根来宏典, 蝶名林秀明, 大内宏友ほか：3次元陰影画像を用いた景観認知による可視化モデルの構築—日本建築学会技術報告集、第20号、2004.12(採用決定)
- 4) P. THIEL: Notes on the Description, Scaling, Notation and Scoring of Some Perceptual and Cognitive Attributes of the Physical Environment A Sequence-Experience Notation, 1961
- 5) 芦原義信：外部空間の構成/建築より都市へ、彰国社、1962
- 6) 吉阪隆正, 藤井敏信ほか：圏域的計画論、財団法人農林統計協会、1981
- 7) 大内宏友, 砂田哲正：地域住民における認知領域の構成要素と広がりに関する実証的研究—環境認知の領域を主体とした実態圏域その1—日本建築学会計画系論文集、第465号、PP.68~75、1994.11
- 8) Carl Bovil: FRACTAL GEOMETRY in Architecture and Design Birkhauser Boston, 1996、三井直樹他共訳：建築とデザインのフラクタル幾何学、鹿島出版会、1997
- 9) 高安秀樹：フラクタル、朝倉書店、pp.196、1986
- 10) 奥俊信：都市スカイラインの視覚形態的な複雑さについて、日本建築学会計画系論文報告集、第412号、PP.61~71、1990.6
- 11) Kevin Lynch: The Image of the City, the Massachusetts Institute of Technology, 1960、丹下健三他共訳：都市のイメージ、岩波書店、1968
- 12) 外部空間のディテール①計画手法を探る、彰国社編、1976
- 13) 日本建築学会編：建築・都市計画のための調査・分析方法、井上書院、1991.11
- 14) 三井秀樹：フラクタル造形、鹿島出版会、1996