フラクタル次元解析を用いた景観認知による可視化モデルの複雑性の定量化手法

QUANTIFICATION TECHNIQUE OF COMPLEXITY IN VISUALIZATION MODELS BY THE LANDSCAPE RECOGNITION USING THE FRACTAL DIMENSION ANALYSIS

蝶名林秀明 —*1 根来宏典 —*2
大内宏友 —*3

Hideaki CHONABAYASHI —*1 Hironori NEGORO —*2
Hirotomo OHUCHI —*3

キーワード：
フラクタル, 景観認知, 可視化モデル, 3次元陰影画像, 複雑性, 沿岸漁村地域

Keywords:
Fractal, Landscape recognition, Visualization model 3D-shade image, Complexity, Coastal fishing villages

This study show it for an index to be quantitative by using fractal dimension analysis about the complexity of visualization models by the landscape recognition with 3D-shade images based on a viewpoint of local inhabitants in coastal fishing villages.

As a summary of fractal dimension analysis with box-counting method, it is thought that a unity of villages classified by a continuity mode of a fractal dimension in a process making box size big, has similar structure.

1. はじめに

近年、科学の専門領域間をつなぐ複合領域や学際的・横断的テーマに関する研究成果があがるにつれ、フラクタル、非線形、自己組織化、カオスといった複雑系科学の重要性が社会的な脚光を浴びている。本稿で取り扱うフラクタルは、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として、1975年B. Mandelbrot¹⁾によって提唱されたもので、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。中でも、フラクタル次元^{*1}を用いた分析手法は、一見不規則な事象や形状の複雑さを定量的な指標として示すことが可能であり、その指標と人間の意識との関係性を明らかにできれば、都市・地域計画の分野においても新たな進展をもたらすものと考えられる。

これまでのフラクタル理論を用いた研究は、幾何学的考察に基づくため、写真・地図などの2次元による分析が主体となっている。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。建築学におけるフラクタル理論を用いた既往研究としては、奥²⁾や佐藤・有馬³⁾の研究がある。前者は、雑誌・書籍から収集した都市景観のスカイラインにおける輪郭線分の統計量とフラクタル次元を用いた研究を行っている。後者らは、都市中心地区、郊外、農山村部を対象に収集したスライドを用い、コンピューター画像処理によるデータをもとにフラクタル次元による景観の定量化を行い、その解析手法の有用性について考察している。本稿は、これらに関連するものであるが、特に地域空間における3次元空間情報を包含した陰影画像のフラクタル性のもつ構造的

意味を明らかにすることを目的としている。

筆者らの既往研究では、沿岸漁村地域を対象に、分析手法として、3次元陰影画像を用いた可視化モデルの構築⁴⁾を行い、フラクタル次元解析用いた一連の分析⁵⁾を報告している。一方で、計画的な方法論として、アンケート調査より得られた認知領域と、3次元陰影画像を用いた可視領域の分析・考察を行い⁶⁾、さらにフラクタル性⁷⁾との関係性についても報告している。これらの成果を踏まえ、本稿では特に具体的な分析手法として、フラクタル次元解析の整理・検証を行うことにより、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複雑性について、定量的な指標として提示する。

2 3次元陰影画像による可視領域

2.1 可視化モデル

筆者らは既往研究⁴⁾において、伊豆・房総半島における59集落(表1)を対象とし、「DEM(Digital Elevation Model:数値標高モデル)によるGISデータを用いた3D地形モデル」と「人間の視覚的認知に近似できる逆二乗減衰を適用した光の広がり」をもとに景観認知による可視化モデルの構築を行っている。具体的には、地域住民の認知している「にぎわいの領域」を中心とし、点光源の高さ(1.6m)、光の減衰始点(750m)、光の減衰終点(1800m)、モデルサイズ(3600×3600)といった設定条件のもと、図1に示す可視化モデルを作成している。

2.2 2値画像の作成

〔2値化処理〕

ボックスカウンティング法^{*2}によりフラクタル次元を測定する

*1 榎本建築設計事務所 修士(工学)

[元日本大学大学院]

(〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

*2 日本大学生産工学部建築工学科 研究員・博士(工学)

*3 日本大学生産工学部建築工学科 教授・工博

*1 ENOMOTO & Associates, M. Eng.

*2 Research Fellow, Dept. of Architecture College Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

*3 Prof., Dept. of Architecture College Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

表1 分析対象地域

房総半島(29地域)												伊豆半島(30地域)											
分析対象地域	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	菰生	31	網代	39	坂戸	47	西子浦	55	八木沢							
	3	飯岡	11	大沢	19	宮崎	27	竹岡	32	宇佐美	40	須崎	48	雪見	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	宮戸	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	静浦							
	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

図1 可視化モデル(例:石部集落)

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。

〔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、既往研究⁴⁾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2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3に示す。

図2 しきい値の検討

図3 3次元陰影画像(例:石部集落)

3. フラクタル次元

3.1 ボックスカウンティング法

数学の分野において、次元の定義は数多く存在する。その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。これらは全てB.Mandelbrotによるフラクタル次元と関係がある。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⁾。相似次元、測定次元、被覆次元は、明確な繰り返しによる相似形状に対して有効であり、海岸線などの実際の自然界に存在する不規則な形状に対しては、容量次元が有効である。

本稿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量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。

図4 ボックスカウンティング法(例:石部集落)

2値画像を一边r画素の正方形で被覆する時(図4)、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⁾。

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

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

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

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 R^2 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。

3.2 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Dと、0.9996~0.9939の決定係数 R^2 が得られた。以下に、石部集落を例として得られたフラクタル次元解析の結果を説明する。

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2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。

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

表2 ボックスカウンティング法における $\log r$, $\log N(r)$ の推移

一辺のピクセル数	ボックスサイズ r	白ピクセル数 $N(r)$	$\log r$	$\log N(r)$
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5 フラクタル次元Dの直線近似(例:石部地域)

視領域)をカウントした。表2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5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。一辺のピクセル数が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、一辺のピクセル数が1024~16Pixelの範囲においてフラクタル次元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。

4. フラクタル次元の連続性による考察

4.1 各ボックスサイズ間の分析

本報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。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6は59地域のフラクタル次元の

図6 フラクタル次元の変化

変化を示している。一般的傾向として、一辺のピクセル数が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。よってクラスター分析を行うにあたり、1024~16pixelの区間でのフラクタル次元を用いる(図6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)。

4.2 フラクタル次元の連続性による地域の分類とその傾向

フラクタル次元の変化量(図7)を求め、多次元データとし、地域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^{*3})を行った(樹形図を図8に示す)。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。各TYPEごとのフラクタル次元の推移を図9に示し、その特徴を以下に整理する。図9の下図は各TYPEごとの3次元陰影画像の例であり、可視領域の広がりや不規則な形状の複雑さをもつことがわかる。

【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7 フラクタル次元の変化量(例:石部地域)

図8 クラスター分析(ウォード法)の樹形図

図9 TYPE別のフラクタル次元の推移

【TYPE②】一辺のピクセル数が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。

【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、比較的に高いフラクタル次元の特徴を持つ地域である。

【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。

5. まとめ

以上のことより、複雑な地形をもつ沿岸漁村地域を対象とし、①3次元陰影画像を用いた景観認知による可視化モデルのフラクタル性の存在を明示し、②海・まち・山を複合（一体）的にとらえた一見不規則に見える可視領域の広がりやを定量化することができた。また③ボックスカウンティング法によるフラクタル次元の連続性の限度（スケール）を具体的な数値（16～4pixel）として把握することもでき、④一定のスケール変化（1024～16pixelの区間）によるフラクタル次元の連続性の様相により、分析対象とした集落を4つのTYPEに分類し、そのTYPEごとの特徴を把握することができた。

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もりは、類似の空間構造（空間のスケール変化）をもっていると考えられる。

フラクタル理論は、アインシュタインの相対性理論と並ぶ、20世紀で最も重要な科学理論であろうと言われている。その後多くの分野で研究が進められているが、未だ発達段階である。本稿において得られた地域住民の視点に立脚した可視領域の広がりやのフラクタル次元と地域空間を形成している住民の意識との相互の関係性が明らかになれば、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。筆者らは既往研究^{10) 11)}において、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持つイメージ構造を明らかにしてきた。今後の展開として、

定量化されたフラクタル次元と地域住民に対する環境認知の調査より得られた「認知領域の広がり」や「空間構造の多義性¹²⁾・わかりやすさ¹³⁾」などとの相互の関係性を分析することにより、フラクタル次元のもつ構造的意味を考察していく予定である。

注記

- *1 フラクタル次元は、自己相似性を定量化した数値であり、相似性をもとにした測度で、位相次元と異なり、非整数値をとることが特徴である。
- *2 ボックスカウンティング法は容量次元としてフラクタル次元を算出する方法である。容量次元の他に代表的なものとして、相似次元、測定次元、被覆次元などがある。
- *3 クラスタ分析 本稿では、広く応用されている最近隣法、最遠隣法、重心法、ヴォード法などを試みた結果、最も分かり易く分類されたヴォード法を適用した。

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) 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
- 3) 佐藤誠治、有馬隆文：都市景観画像の形態特性に関する研究—コンピュータ画像処理を用いた都市景観研究—、日本都市計画学会都市計画論文集、No. 27、PP. 739～744、1992. 11
- 4) 根来宏典、柏原創、蝶名林秀明、山田悟史、大内宏友：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、PP. 359～362、2004. 12
- 5) 根来宏典、蝶名林秀明、大内宏友：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—沿岸漁村地域における環境認知の空間構造に関する研究—、第27回情報・システム・利用・技術シンポジウム（報告）、PP. 265～268、2004. 12
- 6) 根来宏典、大内宏友：地域住民の景観認知における可視領域とその構成について、日本建築学会総合論文誌、PP. 102～107、2005. 2
- 7) 蝶名林秀明、根来宏典、大内宏友：地域住民の可視領域のフラクタル性と環境認知との関係性について—沿岸漁村地域における3次元陰影画像を用いた分析・考察—、日本建築学会2004年度関東支部研究発表会、2005. 3
- 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) 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報告集、第573号、PP. 63～70、2003. 11
- 11) 根来宏典、蝶名林秀明、大内宏友：沿岸漁村地域における複合圏域の変化の要因とその内部構造について—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2—、日本建築学会計画系論文報告集、第587号、PP. 73～80、2005. 1
- 12) A. Rapoport & E. Kantor : Complexity and Ambiguity in environmental design, AIP Journal, 1968. 7
- 13) 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

[2005年4月19日原稿受理 2005年7月22日採用決定]