

# 3次元陰影画像を用いた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 —認知特性におけるイメージの組成とその内部構造—

○日大生産工(院) 山田 悟史 日大生産工 大内 宏友

## 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 Mandelbrot<sup>1)</sup>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。そこで本研究は、特に地域空間における3次元空間情報を含んだ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<sup>1)</sup>を行い、フラクタル次元解析用いた一連の分析<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>、さらにフラクタル性<sup>4)</sup>と認知領域構成要素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、本稿では領域論の視点から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の定量的な指標との環境認知の関係性について分析し、認知特性におけるイメージの組成とその内部構造について考察する。

## 2. 分析対象地域及び調査概要

調査対象地域は、房総半島全沿岸域(29地域)、伊豆半島全沿岸域(30地域)である。調査対象者は、地域住民のとらえる環境認知を明らかにするため、圏域図示法\*1を用い、被験者は中学生以上の居住者(外来者を除く)とし、現地においてアンケート調査を行った。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

表1 分析対象地域及び調査内容

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 菰生	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	
方法										方法																																																					
アンケート調査										アンケート調査																																																					
圏域図示法 1/5000白地図を使用										圏域図示法 1/5000白地図を使用																																																					
期間										期間																																																					
房総半島:1998年7~8月・10月、1991年7月、1995年10月										房総半島:1998年7~8月・10月、1991年7月、1995年10月																																																					
伊豆半島:1998年6月・8~9月、1991年7月、1995年9月										伊豆半島:1998年6月・8~9月、1991年7月、1995年9月																																																					
内容										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										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																																																					

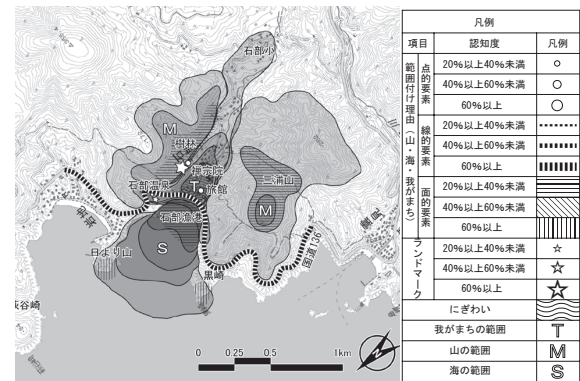


図1 認知領域図(例:石部集落)

記入、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。分析対象地域と調査概要を表1に示す。以上の調査より得られた認知領域図の一部(例:石部地域)を図1に示す。

## 3. 可視化モデル

筆者らは「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(ウェーバー・フェヒナーの法則)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2に示す可視化モデルを作成している。

## 4. フラクタル次元解析

### 4.1. 2値化処理(しきい値の検討)

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<sup>\*2</sup>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。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、前章と同様に光源を設定して検討を行った結果6レベル以上を自とする値をしきい値を採用している。

#### 4.2. ボックスカウンティング法

本研究で行うフラクタル次元解析は、ボックスカウンティング法<sup>\*3</sup>を用いる。具体的には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3)、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。

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

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

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

となる。フラクタル次元Dは、log s 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がフラクタル性をもつことが確認することができる。

#### 4.3. 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<sup>2</sup>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の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sの初期値を3600画素/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。log r、log N(r)の推移を回帰分析を図6に示す。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

#### 5.1. 各ボックスサイズ間の分析

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。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(以下フラクタル区間値と称する。)を測定し、その変化を分析する。フラクタル区間値は図5における各ボックス間の直線の傾きである。図6は59地域のフラクタル区間値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区間値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区間値を用いる。ここで図7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。

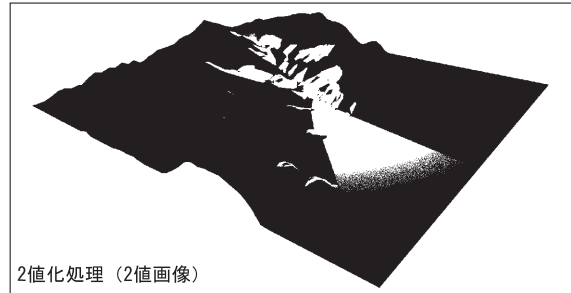


図2 可視化モデル(例:石部集落)

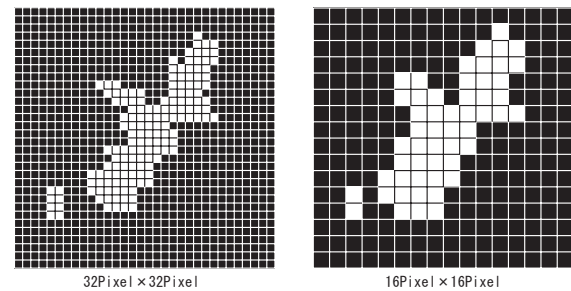


図3 ボックスカウンティング法(例:石部集落)

表2 ボックスカウンティング法におけるlog s, log N(r)の推移(例:石部集落)

一边のピクセル数	ボックスサイズs	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

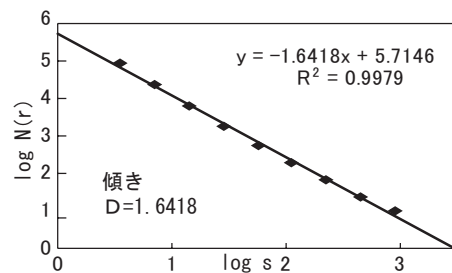


図4 フラクタル次元Dの近似直線(例:石部集落)

#### 5.2. 区間次元の連続性による地域の分類とその傾向

フラクタル区間値の変化量を求め、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<sup>\*4</sup>)を行った(樹形図を図9に示す)。その結果、区間次元の変化の連続性として4つの傾向を読み取ることができた。各TYPEのフラクタル区間値の推移を図7に示し、その特徴を以下に整理する。

〔TYPE①〕ボックスサイズが大きくなるにつれ、フラクタル区間値の変化量の減少する幅が大きくなる特徴を持つ地域である。

〔TYPE②〕一边のピクセル数が64~16Pixelの区間でフラクタル区間値の変化量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、フラクタル区間値の変化量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。

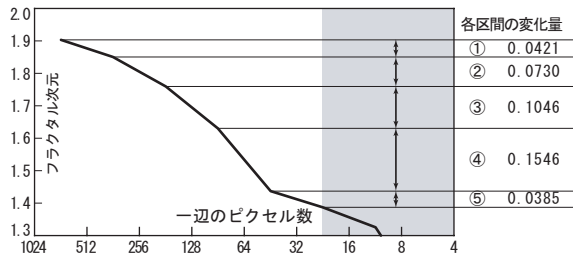


図5 区間次元の変化量(例:石部地域)

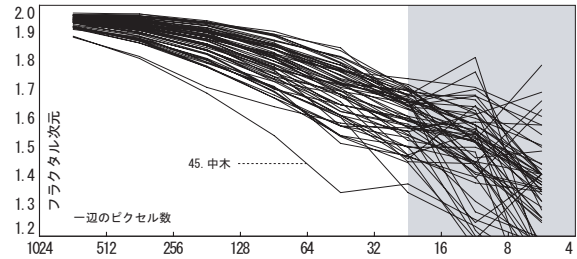


図6 区間次元の変化

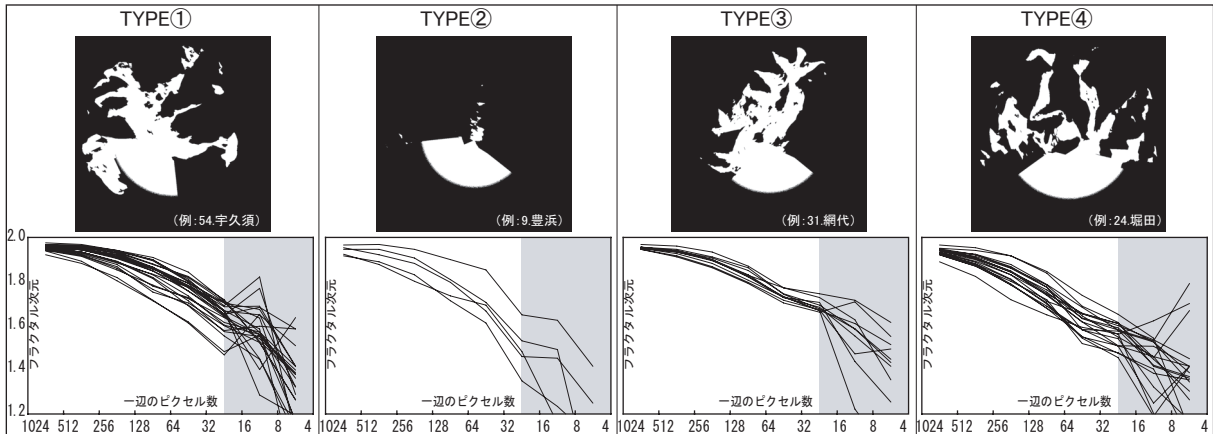


図7 TYPE別の区間次元の推移

〔TYPE④〕一辺のピクセル数が128~32Pixelの区間でフラクタル区間値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。

以上のように、ボックスサイズを大きくする過程におけるフラクタル区間値の変化量の連続性の様相に着目する事で4類型に類型化する事が出来た。

## 6. フラクタル次元と環境認知との関係性

本研究では、フラクタル次元として定量化された可視領域の複雑性のもつ構造的意味を考察するため、環境認知の調査より得られた海・まち・山のレジビリティ、アンビグイティ、交わり度)、認知領域の広がりといった指標<sup>\*5</sup>との関係性回帰分析により明らかにする。回帰分析には、単回帰と重回帰分析がある。説明変数が1つの場合が単回帰分析で、2つ以上の複数の場合が重回帰分析である。実際の地域における空間構造は、各要素・要因が1:1の関係性で成り立っていることは殆どなく、複数の要素・要因が影響を相互に与え合い形成されていると考えられる。そこで本研究では、フラクタル次元(表3)を目的変数Yとし、環境認知の調査より得られた地域特性を説明変数X1~XPとし、TYPEごとに重回帰分析を行った。重回帰分析の結果を表4に整理する。TYPE②はサンプル数が少なく、回帰式の有意性を判断するp値も $5.05 \times 10^{-2}$ となり有意水準( $0.05=5.0 \times 10^{-2}$ )より大きくなったため、回帰式は有意ではないと判断した。その他のTYPEはそれぞれ、TYPE①が $0.21 \times 10^{-2}$ 、TYPE③が $0.54 \times 10^{-2}$ 、TYPE④が $1.75 \times 10^{-2}$ となり、p値が有意水準より小さいので、回帰式は有意であるといえる。重相関係数Rは、各LE値で高い値を示しており、特にTYPE③は自由度調整済み寄与率R<sup>2</sup>も高い値を示している。

表3 全集落のフラクタル次元

TYPE①		TYPE②		TYPE④	
集落名	フラクタル次元	集落名	フラクタル次元	集落名	フラクタル次元
01 銚子	1.7374	09 豊浜	1.6870	06 大原	1.6669
03 飯岡	1.7329	26 救生	1.8091	07 岩和田	1.7074
04 片貝	1.7845	35 八幡野	1.5930	13 浜波太	1.7470
05 太東	1.6758	42 田牛	1.5961	19 富崎	1.7301
08 御宿	1.7006	50 岩地	1.6854	22 高崎	1.6874
10 川津	1.7579	TYPE③		24 保田	1.7368
11 大沢	1.7652	02 外川	1.7963	25 金谷	1.6120
12 鴨川	1.7905	16 江見	1.7604	28 佐貫	1.6098
14 天面	1.8073	17 白子	1.7774	29 大貫	1.6940
15 太夫崎	1.7658	18 中央	1.7651	41 下田	1.7175
21 富浦	1.7954	20 船形	1.7415	44 石廊崎	1.5779
23 勝山	1.7389	31 網代	1.7768	46 雲見	1.6291
27 竹岡	1.7114	32 宇佐見	1.8097	48 妻見	1.6547
30 熱海	1.8043	33 伊東	1.7667	49 石部	1.6418
34 富戸	1.8049	40 須崎	1.6938	51 松崎	1.7135
36 北川	1.7686	58 内浦	1.7408	52 田子	1.6253
37 片瀬	1.7919			53 安良里	1.6848
38 稲取	1.7916			57 西浦	1.7015
39 板戸	1.7828			59 静浦	1.7219
43 下流	1.7332			分析対象外	
47 西子浦	1.6575			45.中木	1.5072
54 宇久須	1.7477				
55.八木沢	1.7817				
56 土肥	1.7405				

しちい値6

表4 重相関係数・寄与率・t値(貢献度)

	TYPE①	TYPE③	TYPE④	t 値	TYPE①	TYPE③	TYPE④
重相関係数	0.843	0.995	0.852	まちLE	5.095	10.594	-3.430
寄与率	0.711	0.990	0.727	山LE	-3.295	3.340	
自由度調整済み寄与率	0.585	0.971	0.553	海LE	-3.305		-3.482
				海AM		-11.747	3.050
				海AM		8.004	2.080
LE=レジビリティ(わかりやすさ)				交わり度①	-3.267		-2.311
AM=アンビグイティ(多義性)				交わり度②		-9.442	
交わり度 ①=まちと海				交わり度③	3.474		
②=まちと山				まちM	-2.646		
③=山と海				山M	3.763		-3.288
M=認知領域の中央値				海A		5.891	3.679
A=認知領域の平均値							

〔TYPE①〕重相関係数0.843、寄与率0.711、自由度調整済み寄与率0.585となった。説明変数を見ると、フラクタル次元を説明する上で、まちLEが最も影響しており、海に関する項目があまり影響していないことがわかる。

〔TYPE③〕重相関係数0.995、寄与率0.990、自由度調整済み寄与率0.971となった。フラクタル次元

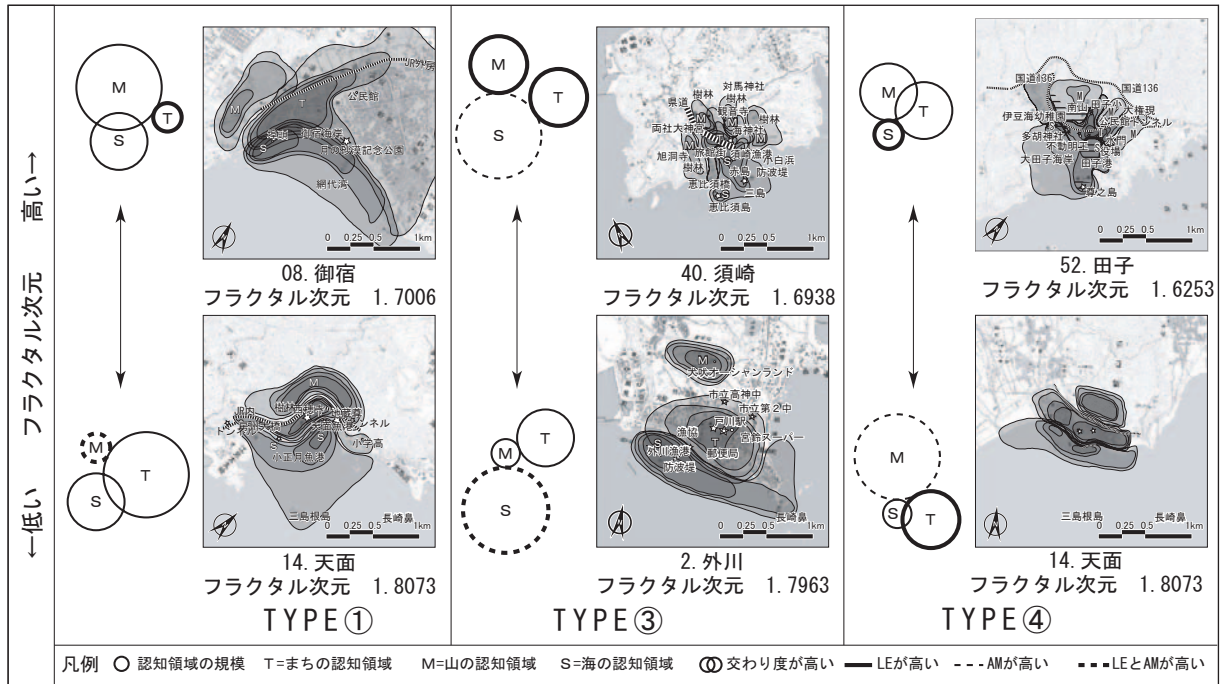


図8 フラクタル次元と地域特性の関係

を説明する上で、海LE、まちLE、交わり度②、海AMが高い割合で影書しており、LEがまち・山・海それぞれで影響していることがわかる。

〔TYPE④〕重相関係数0.852、寄与率0.727、自由度調整済み寄与率0.553となった。フラクタル次元を説明する上で、7つの説明変数が低い割合でほぼ同等に影響していることがわかる。全体的に見ると、フラクタル次元を説明する上で、まちLEは各TYPEで影響しているが、まちAMは影響していないことがわかる。

## 7. まとめ

本稿ではフラクタル区間値の変化量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、重回帰分析により、そのTYPE毎のフラクタル次元と環境認知との関係性を見出すことができた。フラクタル次元と環境認知との関係性を図7に示す。これはTYPE別に、フラクタル次元が高い地域特性と、低い地域特性を図化したもので、フラクタル次元と地域特性の関係を示したものである。以下にTYPE別の傾向をまとめる。

〔TYPE①〕まちLE、交わり度③、山Mが高く、山LE、山AM、交わり度①、まちMが低いと、フラクタル次元が高くなるタイプの地域である。

〔TYPE③〕まちLE、山LE、海AM、海Aが高く、海LE、交わり度②が低いと、フラクタル次元が高くなるタイプの地域である。

〔TYPE④〕海LE、海AM、海Aが高く、まちLE、山AM、交わり度①、山Mが低いと、フラクタル次元が高くなるタイプの地域である。

以上のことより領域論の視点から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の定量的な指標との環境認知の関係性について分析し、認知特性におけるイメージの組成とその内部構造について考察する事が出来た。

## 注釈

\*1 この方法は、対象地域をよく認知している被験者を対象とした場合に有効であり、自己の住居の周辺地区などの、比較的限定された小地域の空間を対象とした研究に適している。認知の有無や広がりなどの量的側面だけではなく、被験者の内部にある空間の切れ目を示してもらうことにより、間接的にその構造を探ろうとするものである。

\*2 濃淡画像、カラー画像などの多値画像から2値画像を得るための処理を2値化処理と呼ぶ。具体的には、濃淡画像 $f(x, y)$ 、しきい値 $t$ に関して、

$$f_t(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \text{ のとき} \\ 0 & f(x, y) < t \text{ のとき} \end{cases}$$

とする操作である。

\*3 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。

\*4 クラスター分析は、距離の定義やクラスター間の距離の決め方などにより、その方法は多種多様である。本稿では、広く応用されている最近隣法、最速隣法、重心法、ヴォード法等を試みた結果、最も分かり易く分類されたヴォード法を適用した。

\*5 レジビリティは、ある地区の空間構造の「わかりやすさ」であり、LE値=地区の総認知度(a)×最大認知項目数(b)/総認知項目数(c)×100とした値で示す。アンビギュイティは、ある地区の空間構造の「多義性」であり、AM値=総認知度(a)×総項目数(d)とした値で示す。認知領域の交わり度は、地域住民のまち、山、海に対する認知領域の相互の「重なり」を示す値であり、個人の認知領域に対し、なし0、分離1、接触2、重層3、のポイントを与え、その地区の総ポイント数の最大ポイント数に対する割合。交わり度=総ポイント数/サンプル数×3)×100とした値で示す。

## 引用文献

- 1) 根来宏典, 蝶名林秀明, 山田悟史, 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, PP. 359
- 2) 蝶名林秀明, 根来宏典, 大内宏友: 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, 日本建築学会技術報告集, 第22号, PP. 549~552, 2005. 12
- 3) 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,
- 4) 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, PP. 265~268, 2004. 12
- 5) 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
- 6) 大内宏友, 坂本龍宣, 砂田哲正, 高橋康征: 地域住民の環境認知における集落の類型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2—, 日本建築学会計画系論文集, 第492号, PP. 75~81, 1997. 2