論文

フラクタル次元による 茶室空間の美的分析[†]

佐藤 祐介^{*1} 新宮 清志^{*2} 杉浦 巖^{*3}

茶室は、その空間内部のあらゆる場に於いて、秩序と無秩序の混在が織りなす複雑な構成となっている。

茶室の美は、その複雑さに起因しているのではないだろうか。本論文では、茶室空間に施されたデザインに内在する複雑さを定量的に示す方法として、フラクタル幾何学におけるフラクタル次元の利用を提案している。その際、まず始めにサンプルとして取り挙げたそれぞれの茶室空間に施されたデザインから、実際にフラクタル次元を測定する方法を示す。さらに、算出されたフラクタル次元による比較・考察を行い、茶室空間における美的考察の新しい観点として“リズム”の分析について言及すると共に、デザインを数学的に解析する際の道具としてのフラクタル次元の有効性を示す。

本論におけるフラクタル次元の算出方法は、以下に示す手順を踏む。

- (1) 対象となる形態のディテールをグリッド化する
- (2) グリッドを空間的変動曲線として表す
- (3) 作成した空間的変動曲線から、スケール変換解析より H 指数を測定する
- (4) 測定された H 指数から、フラクタル次元を求める

キーワード：秩序、無秩序、リズム、フラクタル次元、建築

1. 序論

日本には「茶室」なる建築がある。この茶室に入っ
てまず感じることは、その空間を支配するすべての造
形要素に統一感が全くないことである。非対称に分
割・構成された平面計画や、壁面にバラバラに配され
た窓は、現代の理解しやすい空間に住んでいる我々か
ら見ると、理解困難な、奇異なものに映る。しかし、
そうした複雑な要素が組み合わさり1つの空間として
成立されている茶室に、我々は美しさ、面白さを感じ
てしまうのは何故だろうか。

建築に見られる美の数学的解析は、古代ギリシア・
ローマ建築或いはゴシック建築を対象としたプロポー
ションの研究、さらには日本の神社仏閣における比例
解析に至るまで、様々なかたちで行われてきた。それ
らの大部分は、主に従来の幾何学形態(正方形、正三角
形、円など)や、黄金分割比或いはその他の比例関係を
用いた解析にとどまっており、いわば複雑なモノを単
純なモノに置き換えて分析していくのが主流であった。

しかし、複雑なモノをそのまま複雑なモノとして捉え
ようとする視点があってもいいのではないだろうか。

そして、フラクタル幾何学はそれを可能にするので
ある。

2. 目的・意義

本研究の目的として、以下の2点が挙げられる。

- (1) デザインの数学的解析におけるツールとしての、
フラクタル次元の有効性、
- (2) 茶室空間における美的考察の新しい方法としての
リズムの特徴分析、

(1)のフラクタル次元の有効性はフラクタル次元の
特徴に起因する。従来、一般的に用いられてきた空間
次元は、点としての0次元、線としての1次元、面とし
ての2次元、そして立体としての3次元といった4つの次
元である。これに対し、フラクタル次元は1.3或いは2.8
といった非整数次元をとる¹⁻⁴⁾。すなわちフラクタル次
元を利用することにより、表現された形態の複雑さを
より細かい尺度で分析することが可能なのである。

(2)のリズムの特徴分析については、少々の説明を要
する。

‘リズム’は本来、音楽や舞踊のような時間的なもの
についての用語であるが、造形上でも使われ、構成上重
要な原理の1つとなっている。リズムは、いくつかの部
分がある間隔で配列されたときに生じる。この場合、
各部分が同一で間隔が一定であれば単調なリズムとな
り、逆にあまり変化しすぎていると、リズムは混乱し
て失われやすい⁵⁾。

[†] Fractal Dimension Analysis of Beauty in Japanese Architecture of Chashitsu

Yusuke SATOH, Kiyoshi SHINGU and Iwao SUGIURA

^{*1} 日本大学大学院理工学研究科情報科学専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Science and Technology, Nihon University

^{*2} 日本大学理工学部海洋建築工学科

Department of Oceanic Architecture and Engineering, College of Science and Technology, Nihon University

^{*3} 日本大学短期大学部

Junior College, Nihon University

茶室の空間内部を見ると、‘寸法の妙’なるものが直接‘美しさ(面白さ)’と深い関わりがあると考えられる。茶室内部は極めて小さい空間である。こうした極小空間では、どの座からも四方の壁が、手の届くほどの近距離でぐるりと見回すことができる。つまり、茶室空間を見回したとき、周囲の壁に散りばめられている窓、障子、柱、その他細部のディテールまでもが一連のリズムとなって客、あるいは亭主の目に飛びこんでくる。茶室の美はそのディテールの織りなすリズムにこそ、最も顕著に現れていると考えられる。

すなわち、前述したリズムにおける秩序と意外性との混合の割合を示す尺度として、そのフラクタル次元を測定することは、茶室の美をより具体的にとらえることにつながるものと考えられる。

そこで本研究では、フラクタル幾何学におけるフラクタル次元を用いて、建築における日本の伝統美の凝縮である茶室のデザインを、空間内部のリズムの複雑さに焦点を当てた上で分析・評価し、秩序と無秩序のバランス、割合、それによる美的効果について考察していく。

3. 分析方法

3.1. 基本方法

時間的或いは空間的にランダムな変量の統計的な性質は、変動量の周波数解析(スペクトル解析)によって明らかにできる。H.E.ハーストは上記に基づき、温度や気圧の変動、湖の水位、河川の流出などの自然界の変化を、スケール変換解析と呼ばれる方法により H 指数(ハースト指数)を計算し比較している²⁾。さらに、カール・ポーヴィルはこの H 指数(H)とフラクタル次元(D)の間には次の関係が成り立つことを述べている²⁾。

$$D=2-H \quad (1)$$

この一連の流れを本論文における分析方法とする。つまり、

- (1) 対象となる形態のディテールをグリッド化する。
- (2) グリッドを空間的変動曲線として表す。
- (3) 作成した空間的変動曲線から、スケール変換解析より H 指数を測定する。
- (4) 測定された H 指数から、フラクタル次元を求める。

以下、3.2では上記の分析方法を茶室空間のデザインの分析に適用する場合について述べる。その際、分析例として本研究におけるサンプルの1つである妙喜庵待庵を取り上げ、その空間のフラクタル次元を実際に求める様を示す。

3.2. 茶室空間への適用

3.2.1. ディテールのグリッド化

茶室内部のリズムとは、その空間を取り囲む四方の壁をぐるりと見回すことによって、壁に施された様々なディテールが視覚下に生み出す一連のながれを指す。よって、まずはそうした壁に施されたディテールの配置をもとにグリッドを作成し、様々なディテール群が織りなす、視覚的な変動のみの情報として置き換えることから始める。

妙喜庵待庵の任意の位置に座し、周囲を見回してみると、視覚下にはどのように映るだろうか。図1は待庵の四方の展開図であるが、ぐるりと見回すことによって、これらの展開図に示されている背景は、連続されたかたちで視覚下に飛び込んでくる(図2上)。

我々はある空間を体験するとき、初期動作としてよく空間全体を見回す。それは視覚より得られる情報によって、その空間を認知しようとする行為であり、初めて体験する空間において、こうした行動は頻繁に行われる。つまり、空間内部の様々なディテール群が織りなすリズムは、我々がその空間に対してある種の感情を抱くときの重要な手がかりとなり、インプレッションとして焼き付けられる。

図1. 待庵の展開図
(上列左・北面、右・東面、下列左・南面、右・西面)

図2. グリッドの作成
(上・待庵の展開図の連続、下・待庵のグリッド
(下の数字はグリッドナンバー))

次に展開図の連続より、壁に施されたディテール(色紙窓、障子、柱、襖等)の配されている位置をグリッドとして表し、リズムのデータとなる情報を明確にさせる(図2下)。こうしてみると、全て一律の寸法が基準となっているわけではなく、大小さまじな寸法が組み合わさって茶室内部を構成していることがわかる。すなわち、こうした変動の連続によって‘待庵のリズム’がつけられる。

3.2.2. 空間的変動曲線

次に図2下のグリッドを、その間隔を元に空間的変動曲線として表す(図3)。こうすることによって茶室空間のリズムを1つのノイズとして扱うことができ、スケール変換解析より H 指数を求めることが可能となる。

図3. 待庵のグリッドから作成した空間的変動曲線
(横軸はグリッドナンバー、縦軸は図面1/40上のグリッドの長さ)

図4. 図3の変動曲線を等分割する
(上から、分割なし、スケール1/2に分割、1/4に分割、1/8に分割)

表1. 図3の曲線のデータ

水平軸のスケール	最大幅の平均値
1	2.700
1/2	2.550
1/4	1.425
1/8	1.300

3.2.3. H 指数の測定

スケール変換解析では、対象となる変動曲線における最大の変動幅に着目する²⁾。表1は3.2.2で作成した待庵の空間的変動曲線における水平軸のスケールを1, 1/2, 1/4, 1/8にそれぞれ分割したとき(図4)の最大値と最小値の差異の平均値を示したものである。ハースト指数は、こうして求めた差異を、その水平軸のスケールとともにそれぞれ両対数グラフにプロットし、得られる回帰直線の傾きを測定することにより求まる(表2, 図5)。

図5における回帰直線の傾きは0.40より、

$$H=0.40 \quad (2)$$

と求まる。

表2. 表1のデータの対数

log(水平軸のスケール)	log(最大幅の平均値)
0	0.431
-0.301	0.407
-0.602	0.154
-0.903	0.114

図5. 表2のデータより作成した両対数グラフとその回帰直線

3.2.4. フラクタル次元の算出

先に述べたように H 指数(H)とフラクタル次元(D)の間には

$$D=2-H \quad (1)$$

の関係が成り立つので、3.2.3の結果より、

$$D=2-0.40=1.60 \quad (3)$$

と求められる。

4. フラクタル次元の測定結果

本分析において使用するサンプルは、以下の8つである(左より茶室名、設計者、造立年代、形式)。

- ①妙喜庵待庵、千利休、天正11(1583)年頃、草庵
- ②龍光院密庵席、小堀遠州、寛永18(1641)年、書院
- ③如庵、織田有楽、元和4(1618)年頃、草庵
- ④金地院八窓席、小堀遠州、寛永5(1628)年頃、草庵

- ⑤浄土寺露滴庵、不詳、不詳、草庵
- ⑥玉林院霞床席、鴻池了瑛、寛保2(1742)年、書院
- ⑦玉林院蓑庵、同上、同上、草庵
- ⑧孤蓬庵山雲床、不詳、寛政12(1800)年、書院

図6に、上に挙げたサンプルそれぞれのH指数及びフラクタル次元を、作成したリズム(空間的変動曲線)とともに示す。同図より、サンプルとして挙げたそれぞれの茶室内部のデザインにおける秩序と意外性の混合の割合によって、測定したフラクタル次元の値がどのように変化するか、理解することができる。

5. 比較及び考察

表3は全サンプルのH指数及びフラクタル次元の測定値の一覧である。表3より、それぞれのサンプルにおけるフラクタル次元の値を比較してみると、興味深い結果が浮かび上がってくる。

図7から分かるように、フラクタル次元の値が1.4のラインを境に、上部($D > 1.4$)に5つのサンプル、下部($D < 1.4$)に3つのサンプルがそれぞれ分布しているが、上の5つはその形式から‘草庵茶室’と呼ばれており、下の3つは‘書院風茶室’と呼ばれるものであり、この2つの形式をもつ茶室群はそれぞれ、フラクタル次元の値の大小により明確に区別されている。

ここで、前述した、茶室における2つの形式(草庵茶室と書院風茶室)について簡単に触れておく。

‘書院風茶室’とは、その名の通り書院造の形式を受け継いでいる茶室を指す。つまり書院造がそうであったように、そのデザインは権威を象徴するかのように非常に秩序だった対称形をモチーフにしており、格式の高い形式を取り込んだ茶室をいう。

一方‘草庵茶室’とは、千利休が生み出した、書院造に対するアンチテーゼとしての形式である。よってそのデザインにも、ねじれ、ゆがみ、ひずみといったものを積極的に取り入れ、「侘び」た風情を楽しもうとするものである。‘書院風茶室’を指して「綺麗」、‘草庵茶室’を指して「美しい」と表現されるのも、こうした差異を物語るものである。

さて、こうした背景をふまえて、もう一度図7を参

表3. ハースト指数及びフラクタル次元の一覧

	ハースト指数 (H)	フラクタル次元 (D)
①妙喜庵待庵	0.40	1.60
②龍光院密庵席	0.75	1.25
③如庵	0.57	1.43
④金地院八窓席	0.55	1.45
⑤浄土寺露滴庵	0.51	1.49
⑥玉林院霞床席	0.69	1.31
⑦玉林院蓑庵	0.45	1.55
⑧孤蓬庵山雲床	0.61	1.39

図6. 各サンプルにおけるリズムとハースト指数(H)及びフラクタル次元(D)

図7. フラクタル次元によるサンプルの比較

照されたい。全体的に草庵茶室のフラクタル次元の測定値は、書院風茶室のそれよりも高い値を示していることがわかる。つまり、草庵茶室は書院風茶室に比べ、そのデザインの中により多くの意外性を取り入れているといえる。また、サンプル①の待庵を称して‘草庵茶室の代表’、サンプル②の密庵席を称して‘書院風茶室の代表’といわれるが、この2つの茶室間の値には、特に明確な差が生じている。つまり、フラクタル次元の値が、個々の茶室に施されたデザインの特徴を非常によく表しているといえよう。

特筆すべきはもう1カ所、サンプル①の待庵の値が他のそれに比べ群を抜いて高い値($D=1.6$)を示している点である。先にも述べたが、茶室において千利休が追究した美の極みともいえるものが、この待庵である。つまり、千利休の目指す美の一端を、この値($D=1.6$)は表しているとはいえないだろうか。今後の研究課題でもある。

時間的、或いは空間的に全く変動がない1つの直線において、フラクタル次元は1.0である。この1.0という値は、全ての部分において秩序だっていることを指す。その秩序の中に少しずつ意外性をミックスさせることにより、フラクタル次元は2.0に近づいていく。そして、その中間の要素を含んだものがブラウン・ノイズであり、ブラウン・ノイズのフラクタル次元は1.5の周辺である。この1.5という値は、事象内に秩序と無秩序がほぼ等量ずつ含まれている状態を指す。全てが秩序である直線や、全てが驚きであるホワイト・ノイズは、デザイン・ソースとしてはあまり面白いとはいえないが、その間に移れば、秩序と意外性はミックスされる。そして、秩序と意外性が同居するとき、両者のバランスが非常に重要になる。

待庵がもつリズムのフラクタル次元が1.6という値は、利休の目指す美において、秩序と意外性が絶妙のバランスで混じり合った状態を表していると考えられる。というのは、利休が窓や柱の位置を意図的にずらし、時には突出させ、適度に余白(間)を散りばめたこの空間に、現代に生きる人々は今もなお美しさ、面白さを感じるからである。

6. 結論

本研究では、日本の伝統美の凝縮である茶室空間のデザインにおける秩序と意外性の混在の様を、フラクタル次元なる尺度を用いて分析した。その際、得られた結果は、主に以下の2つである。

- (1) 個々の茶室のフラクタル次元の値による分布が、そのまま草庵形式の茶室と書院風形式の茶室の2つのグループに分かれるかたちとなった。

- (2) 茶室のリズムのフラクタル次元は1.0より高く1.4前後の値を示すものが多く見られ、なかでも千利休の遺構は、最も高い値($D=1.6$)を示した。

上記の結果より、茶室空間には秩序を意図的に崩した、いわゆる‘意外性’のデザインが随所に見られ、千利休の遺構には特にこうした部分が多いといえる。また、デザインの解析において、フラクタル次元が有効なツールとなることを示すことができた。

最後に、本研究における分析方法に関する問題点を挙げると、それはリズムとなるデータの数についてである。本研究ではサンプルとして茶室を扱ったため、その空間におけるイメージ(窓、障子、柱など)が豊富であり、よって作成されるグリッド及びリズムも数多くのデータが反映されたものになったが、データが少ない空間(ワンルーム・マンションの1室など)において、本研究と同様の方法では正確なフラクタル次元を測定することはできない。これは、H 指数を求める際に用いるスケール変換解析が、対象となるスペクトルに分解する回数が多いほど求まる測定値の正確さが増すといった性質を持っており、数多く分解するためにはそのスペクトルに含まれるデータも多くなければならないからである。

参 考 文 献

- [1] ベンワール・マンデルブロ著、広中平祐訳：「フラクタル幾何学」日経サイエンス社、1985
- [2] カール・ボーヴィル著、三井直樹・三井秀樹共訳：「建築とデザインのフラクタル幾何学」鹿島出版会、1997
- [3] 高安秀樹：「フラクタル」朝倉書店、1986
- [4] 石村貞夫、石村園子：「フラクタル数学」東京図書、1990
- [5] 小林盛太：「建築美を科学する」彰国社、1991
- [6] 中村昌生監修：「国宝・重文の茶室」世界文化社、1997
- [7] 出江寛：「数寄屋の美学」鹿島出版会、1996
- [8] 河原書店編集部編：「茶室の見学」河原書店、1963
- [9] 福良宗弘：「茶の湯空間とはなにか-成り立ちと構成」彰国社、1995
- [10] 前久夫：「茶室のみかた図典」東京美術、1981

(2000年6月1日 受付)

[問い合わせ先]

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1

日本大学理工学部海洋建築工学科

新宮 清志

Tel & Fax : 047-469-5426

E-Mail : kshingu@shinguu2.cs.cst.nihon-u.ac.jp

著者紹介

 さとう ゆうすけ
佐藤 祐介

日本大学大学院理工学研究科情報科学専攻

平成11年 日本大学理工学部海洋建築工学科卒業。平成11年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程情報科学専攻入学。現在、在学中。

 しんぐ きよし
新宮 清志 [正会員]

日本大学理工学部海洋建築工学科
日本大学大学院理工学研究科情報科学専攻

昭和45年 日本大学大学院理工学研究科修士課程建設工学専攻修了。昭和49年 同博士課程建築学専攻単位取得。昭和49年 日本大学理工学部助手。その後、専任講師・助教授を経て平成5年 教授 現在に至る。工学博士。昭和60年～61年 カーネギー・メロン大学客員研究員。シェルのファジィ制御を世界に先駆けて行い、更に「免震シェル構造」を提案・命名。著書(共)に「シェル・単層チラス構造の振動解析」(日本建築学会)、「知的システムによる建築・都市の創造」(技報堂出版)他。日本ファジィ学会理事、同事業委員会委員長、日本建築学会卒業論文等顕彰事業委員会選考部会会長等を歴任。日本ファジィ学会論文賞受賞(1997年度)。現在、日本ファジィ学会監事、日本計算工学会評議員、日本建築学会知的システム研究小委員会主査、日本計算工学会「ソフトコンピューティングに関する調査研究」主査他。日本建築学会、国際シェル空間構造学会等の会員。土木学会フェロー。

 すぎうら いわお
杉浦 巖

日本大学短期大学部(船橋校舎)一般教育物理

昭和39年 東京大学大学院数物系研究科修士課程修了。昭和41年 同博士課程物理学専攻単位取得の上退学。同年 日本大学生産工学部助手。その後、同理工学部助手を経て、現在短期大学部助教授。専攻は一般物理学。特に統計物理学「輸送係数の密度展開」、「輸送方程式の衝突項の対数発散」の研究に従事し、その後非平衡系の熱力学および流体力学の計算機実験「おろし風の数値実験」(山を駆け下りる風の視覚化)に取り組む。近年は「形の科学」特に「自然界のフラクタル構造」の研究から複雑系に関心を寄せている。日本物理学会会員。

Fractal Dimension Analysis of Beauty in Japanese Architecture of Chashitsu

by

Yusuke SATOH, Kiyoshi SHINGU and Iwao SUGIURA

Abstract :

Chashitsu is a form of Japanese architecture which originated from *cha-no-yu*, a Japanese art. We think that the balance of order and disorder of design in chashitsu space makes the beauty of chashitsu. The purpose of this study is to analyze the beauty of chashitsu from the rhythm in space, and to consider the effect of fractal dimension on a designer's work. The process of calculating the fractal dimension is as follows :

- (1) Grids are drawn up based on the detail(parts) of a chashitsu, such as *fusuma*, *shoji*, *hashira* pillar and *shikishimado*.
- (2) Rhythm in space is written through the grids as a graph, paying attention to a change of scale on each grid.
- (3) An H-index is calculated from the data of the rhythm.
- (4) The fractal dimension of chashitsu is calculated from the H-index.

We propose an analytical method of the design of chashitsu on the basis of fractal dimension.

Keywords : Order, Disorder, Rhythm, Fractal Dimension, Architecture

Contact Address : Kiyoshi SHINGU

Department of Oceanic Architecture and Engineering,
College of Science and Technology, Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi-shi, Chiba, 274-8501 Japan
TEL : 047-469-5426
FAX : 047-469-5426
E-mail : kshingu@shinguu2.cs.cst.nihon-u.ac.jp