

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：34424

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350035

研究課題名(和文)フラクタル形体による空間造形デザイン

研究課題名(英文)Space Design Composed of Fractal Shapes

研究代表者

吉田 美穂子(YOSHIDA, Mihoko)

梅花女子大学・公立大学の部局等・教授

研究者番号：90342203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：シンメトリーの多様性として量的な大きさに左右されない、ある図形の部分と全体が相似であるという自己相似性が自然界には多く存在している。また、造形的なリズムの中での意外性の混在はわれわれに心地よい環境をもたらし、デザインを豊かなものにする。フラクタルはこの両面の性質をもっている。

フラクタル図形のもつ自己相似性のプログラムをCADに転用して空間構成を行った。大きさを持たないフラクタルに尺度を与えることで空間は幾何学図形の「美」を可視化した、より自然形体に近いものとなった。フラクタルは居心地の良い空間を生成することのできる有効な道具であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In the world of nature exist abundant self-similarities which represent that one part of a graphic is similar to a whole graphic regardless of quantity. Moreover unexpectedness mixed up in figurative rhythm makes us surrounded by comfortable environment, enriching design. Fractal possesses both aspects.

Composition of space was performed with CAD to which program of fractal's self-similarity was diverted. Space has become more like natural one which makes us feel "beauty" of geometric graphics by providing metrics with dimensionless fractal. Fractal shapes assuredly present an effective way enabling us to create comfortable space.

研究分野：生活科学、芸術学、建築学

キーワード：フラクタル 対数螺旋 空間デザイン 形之美 分数多角形 黄金分割

1. 研究開始当初の背景

(1) 作品の美しさを考えるとき、自然美をまず考えるのが最初である。芸術家が自然からインスピレーションを得てその美しさを表現し、その造形表現にフラクタル・リズムがあるとする三井直樹の論文[印象派絵画に見るフラクタル幾何学, デザイン学研究, 46, 4, 11 頁-18 頁, 1999]がある。また、CG において、自己相似性をうまく見つけ出すことができればそのモデリングは比較的容易で、数値(パラメータ)の変更により色々な種類の植物を生み出せるとする吉田浩の論文[フラクタルとコンピュータグラフィックス, 宝塚造形芸術大学紀要, 7, 122 頁-137 頁, 1993]では、CG はアートとしてまだまだ発展段階であり、フラクタルは規則的なものでも不規則的なものでもない曖昧なものを表現する道具とし、この道具は CG をアートの一分野へと押し上げる魔法の杖かもしれないとしている。また、どんなに拡大してみても無限のカスケード(多層構造)をもち、自己相似性を示す数学的形体の研究がフラクタル幾何学で、それはコンピュータにより正確に可視化できるという特性がある。

(2) 「フラクタル」という語は数学者であるマンデルブロット(Benoit Mandelbrot)によってつくられた。フラクタルの特徴のひとつである自己相似性は、全体にも部分にも同じ形が現れる性質であることで、古くから数学の世界で知られている。自分自身を呼び出す「再帰関数」を使って、何度も同じ仕事をコンピュータに繰り返させることを再帰的处理といい、これにより自己相似図形を造ることができる。また、自然物の場合は、より広い範囲の「自己相似性」に属する。

フラクタルの利用は建築にも及び、カール・ボーヴィルは著書[三井直樹・三井秀樹訳: 建築とデザインのフラクタル幾何学, 鹿島出版会, 1997]で、建築を学ぶ学生を対象に様々な事例を挙げてフラクタルの建築デザインへの応用を促している。また、佐藤祐介・新宮清志・杉浦巖による論文[フラクタル次元による茶室空間の美の分析, 日本ファジィ学会誌, 12, 5, 696 頁-701 頁, 2000]では妙喜庵待庵の任意の位置に座って周囲を見回した時の視覚下に飛び込む空間の様々なディテールのリズムをグリッドとして表し、木村謙・渡辺仁史の論文[スクリプティングを取り入れたデジタルデザイン教育, 日本建築学会技術報告集第 17 号, 日本建築学会, 379 頁-384 頁, 2003]ではスクリプトの数値(パラメーター)を変化させることによる形体操作や、レイアウトルールを取り入れたデザインは「関数グラフィックス」をさらに具体的な形として現したものと考えられる。さらに、朝山秀一は論文[フラクタルとカオスの建築デザインと制御への応用, 日本ファジィ学会誌, 9, 2, 198 頁-205 頁, 1997]の中でフラクタル図像を建築デザインに応用した

モデルを示す。また源田悦夫は文章、画像、サウンド、2D・3D の形状データ、環境条件、時系列変化要素などの様々な情報をデジタルデータとして一元的に取り扱い、これらの要素を制作要件に応じて処理・再編し、新たな情報として表現するための新しいクリエイータ教育の必要性を説いている[運動する視点あるいは対象の変形 - コンピュータアニメーション -, 美の図学, 日本図学会編, 森北出版, 59 頁-66 頁, 1998]。

以上の既往研究を踏まえ、大きさを持たないフラクタルに尺度を与えることで空間は幾何学図形の「美」を感じさせる、より自然形体に近い造形物を制作することができ、さらに居心地の良い空間を生成することのできる有効な手段であると考えた。

(3) 今までの自身の研究では日本の伝統的建築意匠である植物・動物文様に、フラクタルを知らないはずでありながら、経験的にそのデザイン思想が反映され、対数螺旋というデザイン要素を巧みに操りながら、時には変形を加えて、制作者は確実に自分の作成意図を伝えてきたことを実証し、幾何学図形をフラクタル的に出現させて構成した学生の壁面制作の実習例とともに博士論文にまとめた。また最近では、紀要論文と日本デザイン学会論文で、Java によるフラクタルのプログラムを参考に、フラクタル図像を VectorScript を使用することにより描画して CAD 上に出現させ、リアルな表現での空間構成を試みた。

本研究では、今までの研究をさらに進めて、より汎用性の高いプログラムの作成・選択、さらによりリアリティを持つ 3D 空間の構築、そしてそれらを教育の場において効果的に体感させ、実習させるためのカリキュラム開発を行い、その手法を広く発信・発表することを目指した。

2. 研究の目的

(1) 自然界では量的な大きさに左右されない、ある図形の部分と全体が相似であるという自己相似性が多く存在している。また、造形的なリズムの中での意外性の混在はわれわれに心地よい環境をもたらす、デザインを豊かなものにする。フラクタルはこの両面の性質をもっている。われわれにとってフラクタル幾何学図形を組み込むことは、自然界に存在する形のシステムを内包する新しい建築・インテリア形体を造ろうと試みて、居心地のよいデザインを提案する。

(2) フラクタル図形のもつ自己相似性のプログラムを CAD に転用して多様な場での空間造形を行ない、フラクタルが身近に存在するユニバーサルデザイン要素として、社会と教育の場で汎用するための手法の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) Java や C 言語による CG は今までに多くなされており、本研究も既往のプログラムを VectorScript に書き直したものを元に構成していく。そして、フラクタル幾何学図形を 3DCAD 空間に出現させて建築・インテリアデザインへの応用を図る。最初は平面で検討し、次は空間へと展開していき、色や大きさ・角度等、さまざまな要素を変化させた 3D フラクタル図形の視覚効果を比較検討することで効果的な表現が可能となる Script を選び出す。それらを CAD 上で空間デザインし、様々なバリエーションの中から汎用性の高いデザインを集めて取りまとめていく。

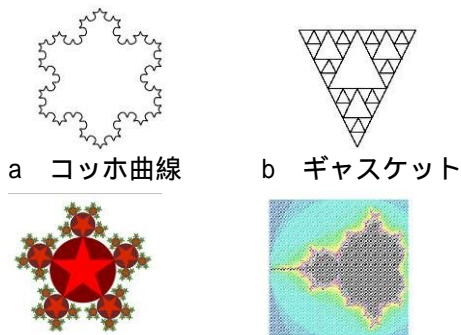
(2) 効果的な表現手法に分数の正多角形が深く関わっていることから、その視覚効果を分析し、多くの作品にどのように応用されて用いられてきたかを明らかにする。

(3) デザインを学ぶ学生が CAD の授業で容易にフラクタル図像を扱うことができる造形手法を学ぶカリキュラムを開発する。この手法は広く公表し、各所でプレゼンテーションを行い、そこで得られた意見等を参考にプログラム作成にフィードバックし、自然に近いフラクタル空間造形を模索する。

なお、本研究では描画ソフト(アドビシステムズ社の PhotoShop CS6)と CAD ソフト(エーアンドエー株式会社の VectorWorks2013)の両方を用いて制作や分析を行った。

4. 研究成果

(1) Java や C 言語、ロゴ坊等で表現されているフラクタルのプログラムを VectorScript に書き直し、そこで CAD 表現が可能かどうかを判断する。よって、フラクタル図像の決定とそれらを構成して幾何学的形体を平面上・空間上に表出させるための具体的な手法を検討し、そのためのデータを集めた(図 1)。



a コッホ曲線 b ギャスケット
c 星形正五角形 d マンデルブロート集合
図 1 フラクタル図像(一部)

さらに、一步進めて「どのように効果的に美的空間を創り出すか」という仕事にとりかかった。創り出すのは CAD における 3D 空間で、色や大きさ・角度等、さまざまな要素の数値(パラメーター)を変化させてデータを集め、その中から整った形体を選択決定した。

建築・インテリア空間構成のためのプログラムの確認と CAD への展開をおこなった(図 2)。

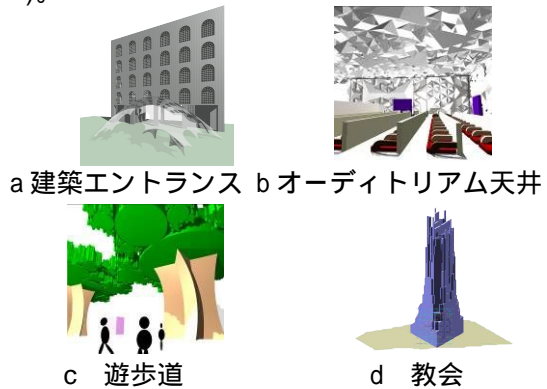
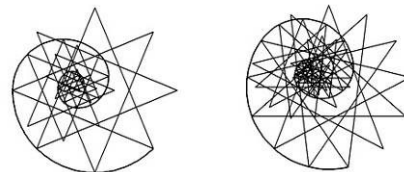


図 2 図 1 から CAD への展開(一部)

(2) 図形をいかに効果的に見せるかを検討するため、分数の正多角形を用いて回転させながら拡大していくという動力学的な出現方法を具体的な作図法を用いて調べること、「静」から「動」へのデザイン生成プロセスが体験できる。生物の成長に見る自然のリズムを持つ図形の出現は、より身近にわれわれと共生するデザインとなり、その汎用・転用により居心地のよい空間を造り出すことができるとの結論に至った(図 3)。



a 正 8 / 3 角形 b 正 13 / 5 角形
図 3 分数の正多角形を黄金比率で拡大しながら外角と同じ角度で回転した時の作図と軌跡の対数螺旋(一部)

なお、作図から得られた対数螺旋を比較した結果、黄金角である約 137.5° に近い外角を持ち、分母・分子が 1 つ飛びのフィボナッチ数で現わされる正 8 / 3 角形、正 13 / 5 角形が最もバランスの良い効果的な現れ方をすることを確かめた。また、この時の軌跡である対数螺旋は $r = e^{0.200519}$ の式で表され、螺旋の接線と中心からの線とがなす角度は約 78.7° であった。本研究ではこれを黄金分割螺旋と呼ぶ。

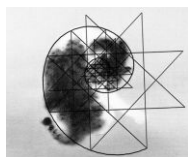
この黄金分割螺旋は絵画の作品にも見られる(図 4)。その一部を紹介する。

竹内栖鳳の「班猫」では無背景のほぼ中央に猫 1 匹のみを配しており、そのオブジェクトのフォルムに黄金分割螺旋を重ね、さらに正 8 / 3 角形を描いていくと、目から、宇宙へと螺旋の波動が拡大されて伝達されていることが確認できる。また、葛飾北斎の「鳳凰図」ではオブジェクトの周囲に余白がなく、螺旋はオブジェクトの体の中に収束し、見る者の意識を対数螺旋の波動に乗せて鳳凰の体の内部へさらに奥深くへと吸い寄せている。

即ち、分数の正多角形と対数螺旋が見る者の意識を集中させながら波動に乗って宇宙へ導いたり、1点へと引きずり込んだりして、制作者は作品の世界観や制作意図を確実に伝えている。



原画

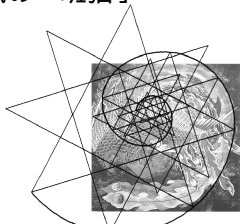


分析図

a 竹内栖鳳の「班猫」



原画



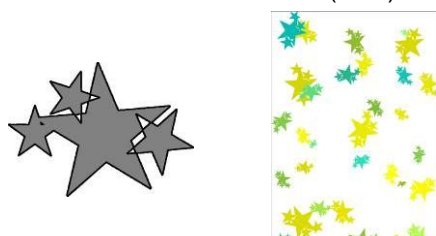
分析図

b 葛飾北斎の「鳳凰図」

図4 絵画に見る正8 / 3角形の黄金分割螺旋

(3) 個々のプログラムについて空間デザインに表現するためのCAD操作を、学生に学ばせ、デザイン教育に役立つ具体的なカリキュラムを考案し、すでに今年度の授業で実践している。

以下は学生作品の一部である(図5)。



フラクタル画像作成の展開

a フラクタル図形の作成



からメモパッドの作図・制作



その他、封筒の作図・制作

b フラクタル図形のインテリア制作

図5 デザイン教育への展開

これからは、デザインに関連した職業人やデザインに興味のある一般の人々を対象にした学内外での公開講座を開いて、広く意見を問いていくこととする。また、これらの結果は大学のホームページ等で広く発表に努めていくつもりである。

現在、デザイン研究の学会誌に投稿中であ

り、2016年3月にはこれらの成果報告として広く社会に公表するため、1冊の本にまとめて株式会社パレードから「対数螺旋とフラクタルの空間造形デザイン」というタイトルで出版した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

吉田美穂子、分数の正多角形と黄金分割螺旋、梅花女子大学文化表現学部紀要、査読無、11巻、2015、1-12

<http://manabiya.baika.ac.jp/gdb/open/1854/>

吉田美穂子、形的美を構成する対数螺旋とフラクタル、梅花女子大学短期大学部研究紀要、査読無、62巻、2014、69-84

<http://manabiya.baika.ac.jp/gdb/open/1855/>

〔学会発表〕(計 2件)

吉田美穂子、分数多角形と対数螺旋のフォルム、日本デザイン学会、2015.2.8、日本デザイン学会第4支部平成26年度研究発表会 概要集 pp.06~07、大阪工業大学うめきたナレッジセンター(大阪府)

<http://manabiya.baika.ac.jp/ccs/upfiles/gdb/001853-1428526146.pdf#search=%E5%88%86%E6%95%B0%E5%A4%9A%E8%A7%92%E5%BD%A2%E3%81%A8%E5%AF%BE%E6%95%B0%E8%9E%BA%E6%97%8B%E3%81%AE%E3%83%95%E3%82%A9%E3%83%AB%E3%83%A0>

吉田美穂子、フラクタル形体の空間デザインへの応用、日本デザイン学会、第60回研究発表大会概要集(CD-ROM) 4A-03、2013.6.23、筑波大学(茨城県)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssd/60/0/60_66/_pdf

〔図書〕(計 1件)

吉田美穂子、株式会社パレード、対数螺旋とフラクタルの空間造形デザイン、2016、112

〔その他〕

ホームページ等

(1) 教員データベース「吉田美穂子」

<http://manabiya.baika.ac.jp/kdb/staff/98/>

(2) 吉田美穂子のホームページ

<http://www.baika.ac.jp/~mihoko/>

(3) researchmap「吉田 美穂子 研究者」

<http://researchmap.jp/read0071112/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 美穂子 (YOSHIDA, Mihoko)
梅花女子大学・口腔保健学科・教授
研究者番号：90342203

(4) 研究協力者

伊藤 泰子 (ITO, Yasuko)
梅花女子大学短期大学部・非常勤講師

釜江 哲朗 (KAMAE, Teturo)
大阪市立大学大学院・理学研究科・名誉教授
研究者番号：80047258

加藤 善彦 (KATO, Yoshihiko)
梅花女子大学・図書館情報センター図書グループ・職員

野田 英行 (NODA, Hideyuki)
梅花女子大学・図書館情報センターメディアグループ・職員

安威 和世 (YASUI, Kazuyo)
梅花女子大学・図書館情報センター図書グループ・職員

吉田 喜信 (YOSHIDA, Yoshinobu)
高山八幡宮・宮司