

## アイ・トラッカーを用いた石庭の視線解析

王雲 佐久間大典 蔡東生  
筑波大学 システム情報工学研究科

要約: 本研究では石庭のフラクタル性や中心軸変換などの形状特性が鑑賞者の感性心理にどのように作用しているかを探るために、アイ・トラッカー技術を用いて、人間の目もつ鑑賞者の注目場所の移り変わりやそこから分かる認知過程などの、意識的、または無意識的な動きの情報から解析を試みます。

### Use the Eye Tracker for Visual Analysis of the Stone Garden

Yun Wang , Daisuke Sakuma , Dongsheng Cai  
Dept. of Information Science, University of Tsukuba, Japan

Abstract: *The analysis is based on eye movement process that is conceded to the intentional or unconscious from change of gaze places of those with man's eyes we use the eye tracker technology to search how the shape characteristic of the fractal and medial axis conversion of the rock garden. How it acts on appreciation person's sensibility psychology in this research.*

#### 1. はじめ

近年では、計算機の発達などにより、視点を正確に追跡してその位置を測定し、データとして記録するアイ・トラッカーまたはアイ・マーク・レコーダーと呼ばれる装置が開発されたお陰で、より正確な視覚運動測定実験が可能になっている。アイ・トラッキング技術は非常に様々な分野に渡っており、大きく分けると心理学・神経科学、生産管理工学・ヒューマンファクター工学、マーケティング・広告、コンピュータサイエンスなどである[3]。近年の研究において、心理科学の分野では、絵画に対して鑑賞者の視点の注視データを取り、その複数の被験者のデータから Fixation Map (注視点と注視時間の三次元グラフ) を得て、それを鑑賞対象の絵画作品に明暗としてフィルタリングを行うことで、その絵画において重要な領域を視覚化する研究[1]、生産管理工学・ヒューマンファクター工学の分野では、飛行機のフライト・シュミレーターにおいて進入、着陸時にパイロットの計器への注視がどのような配分になっているかを調べる研究[2]や、昼夜の車の運転時の運転手の視点の動きを測定する研究[3]、マーケティング・広告の分野では、Web ページの構成に関して視点の動きを測定してそのデータ反映させることが多く成されており、他にも様々な広告分野でその配置に対して視点データを取り入れている。

また、コンピュータサイエンスの分野では眼球運動のデータを応用した研究が多く成されており、CGの分野ではノン・フォトリアスティック・レンダリングの分野で、写真に対する視点データによってその写真を抽象化する研究[4]がある。

我々の研究室では、CGなどを用いて人の感性を刺激する美しさの表現を追及した研究を行っており、その一環として、美しいと感じられる対象として日本文化の財産である日本庭園に注目してきた。その中でも特に龍安寺に代表される「石庭」に着目し、石庭設計をバーチャルに進めるためのアプリケーションの開発などを行ってきた。そのアプリケーションを用いた設計実験の結果、石庭を設計していく過程において、その構造にフラクタル性が現れてくるということが確認された[5]。また最近、ユネスコ世界遺産の一つである京都龍安寺の石庭の空間的な構造を、中心軸変換法を用いて解析する研究が行われた[6]。その結果、龍安寺において最適鑑賞ポイントであると言われていた場所に石庭の中心軸が向いていることがわかった。このことから自然を鑑賞する人々は無意識にその構造の中心軸を認識していると考えられる。また、これは石庭の中心軸方向が指す最適鑑賞ポイントは画像的情報量(シャノンの情報量)が最大になるポイントであることを示していると考えられる[7]。

そこで、本研究では石庭がもつフラクタル性や中心軸変換などの形状特性が鑑賞者の感性や心理にどのように作用しているか探るために、設計アプリケーションで実際に設計した石庭でパーチャル・ウォーク・スルー[ 8]を行うムービーを鑑賞してもらい、そのときの鑑賞者の視点の動きをアイ・トラッキング技術を用いて、人間の目もつ鑑賞者の注目場所の移り変わりやそこから分かる認知過程などの、意識的、または無意識的な動きの情報から解析を試みる。過去の実験において、石庭を一定速度で左右にパーチャル・ウォークスルーを行うムービーによる実験を行ったが、記録データがVHSテープであったために、厳密な解析には至っていなかった。そこで、その過去のデータに対して解析方法を適応して注視時間などを抽出すると共に、その実験における問題点を検証し、それを改善する新たな実験を試みる。

## 2. 1 庭石慣習的な設計ルール

庭石に関するルールを細かく分類すると、(1) 据え方に関するルール、(2) 数の構成に関するルール、(3) 位置的な相関に関するルール、の3つの範疇のルールが存在する。

### (1) 据え方に関するルール

安定感、奥行感があるように石を据えるため、以下の3つのルールが存在する

- i) 地面と平行に配置
- ii) 左右均等に配置
- iii) 二面以上が見える配置

### (2) 数の構成に関するルール

庭石は、3つまたは5つを基本とする奇数単位の群が基本。

### (3) 位置的な相関に関するルール

庭園中央部に庭石を配置すると、視界が遮られることにより圧迫感を受け、見苦しい庭園になってしまう。これを防ぐため、庭園中央部を避けて石を配置する。また、真、副、対の3石を配置するとき、真の石の位置が鈍角となる鈍角不等辺三角形を形作るように、心掛ける。また、多くの石を使用する場合には、再帰的に鈍角不等辺三角形を形作るように配置する。さらに石相互間には、隣接関係と対立関係が存在し、接しているか、わずかに離れている石同士は隣接関係、十分な距離を持って離れている石同士は対立関係である。石群内では、真の石と他の石が隣接関係になるようにし、石群同士では、それぞれの真の石同士が対立関係になるようにする。

## 2. 2 石庭の形状の特性

龍安寺石庭は、作庭年代が室町時代末期と大変古く、世界遺産に認定された世界的に有名な石庭である[8]。また、自然の景観を最も簡略化して

表現している庭園の1つとして知られている。そこで、この龍安寺石庭を例として、その構造から抽出される多くの庭師が共通に持っている感性、即ち「普遍的な形状特性」について述べる。

一般に絵画の図形構成法の1つ Reflectaphor [9]という概念が存在する。これは、特に東洋画、例えば浮世絵や水墨画などに一般的に見られる手法であり、自己相似な形状が互いに互いを映しあい(Reflect)ながら、要素同士が似ていると同時に異なっているため、隠喩(Metaphor)のように緊張感をたたえることにより、画面の構成に締まりを入れる手法である。言い換えると、色々なバリエーションで繰り返されている1つの形が存在し、その変化のある繰り返しのために、作品に統合性、多様性、全体性が生まれることになる。

一般に、龍安寺石庭は、「七五三の庭」として知られている。「七五三の庭」とは、庭園が7, 5, 3個の構成要素からなる群として表現されている庭のことである[8]。この群の分け方に基づき、慣習的設計ルールの1つである「鈍角不等辺三角形形状の配置」に注目すると、龍安寺石庭から、3段階に再帰的に構成される鈍角不等辺三角形形状を抽出される(図1)。2石構成になっている部分が存在するがこれは鈍角不等辺三角形の変形と考えられる。この図1を見ると、鈍角不等辺三角形が様々なスケールで、かつ、様々に変形され、繰り返されて構成されている。つまり、龍安寺石庭(図2)のReflectaphorは、この繰り返しのために、庭園に統合性、多様性、全体性が生まれると考えられる。



図1 龍安寺石庭の再帰的な鈍角不等辺三角形[9]

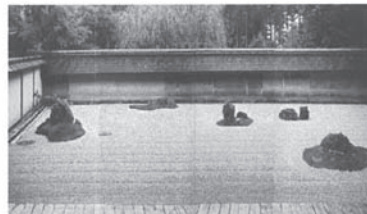


図2 龍安寺の石庭

再び 3 段階の再帰的に構成される鈍角不等辺三角形(図 1)に注目し、龍安寺の石庭に対してすべての石と群のサイズを Hausdorf 距離(図 3)で測定し、そのサイズデータを降順に並べて傾きを調べると-1.04 になる(図 4)。これは Zipf の法則が成立していることを示し、Zipf の法則はこの配置がフラクタル的であることを意味する[10]。

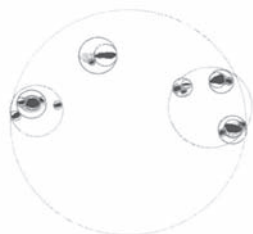


図 3

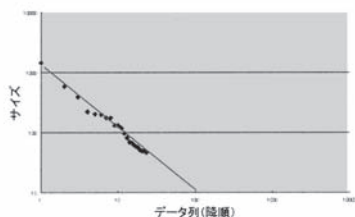
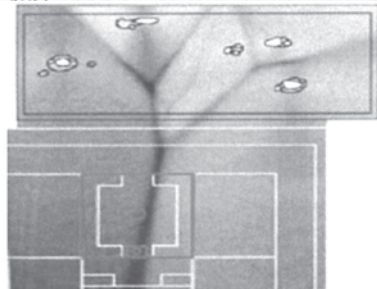


図 4

### 2.3 最適鑑賞位置

龍安寺石庭の石群の配置には、1本の“中心軸ツリー”の描像が隠されている」という分析結果がトンダーらによって発表された[11]。トンダーらは、石群の位置と大きさを数値化し、中心軸変換[12]で、石群の間の中心線を抽出した。この中心線は、1本のツリーを形作っており、その幹は古くから慣習的に龍安寺石庭の最適鑑賞位置とされている場所に向かっていと報告した図(5)。



図(5) 龍安寺石庭にハイブリッド中心軸変換を施した

### 3.1 実験対象

本研究の視覚対象はバーチャル石庭である図(6)、鑑賞者が自由に鑑賞ポイントを選択でき、首を振ることによって視界も自由に選べるような環境の構築方法として VRML(Virtual Reality Modeling Language)を用いることにした。

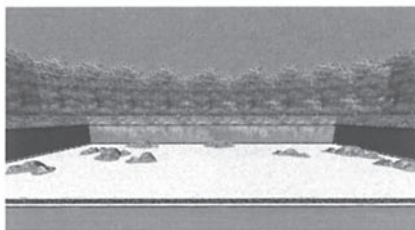


図 6 VRML 石庭

VRML で石庭を設計するに当たり、慣習的設計ルールを元に、石の配置に関する部分では難波によって開発された設計アプリケーション[5]を用いて、フラクタル性や Reflectaphor 構成などの形状特性が取り入れられた石庭を設計し、この設計アプリケーションによって石庭の庭石の配置構造が決まったら、それを元に VRML によって廊下や壁、周りの背景などをモデリング、テクスチャマッピングなどを行って作成し、鑑賞実験の対象として適しており、なるべく現実の石庭を鑑賞している感覚を味わえるレベルのバーチャル石庭を構築した(図 6)。石庭の砂場の広さは龍安寺の石庭の比率を参考にし、壁の高さは約 2m、廊下の高さは下の段が 50cm、上の段が 70cm に設定し、視点の高さは身長約 170cm に設定した。またカメラ設定では人間の視野特性を考慮し、より現実に見える範囲をスクリーン内に表示できるよう水平方向への視野角を 170° に設定した。

### 3.2 実験方法

今回設計した石庭において、注目すべき形状特性である「フラクタル的に使われている Reflectaphor 構成」と中心軸については図(7)に示す。この中心軸方向近辺を最適鑑賞ポイントであるととする。

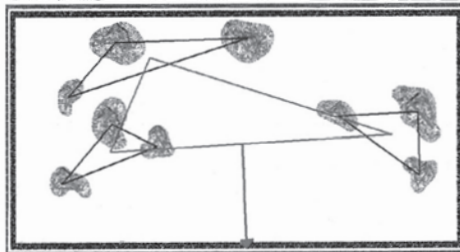
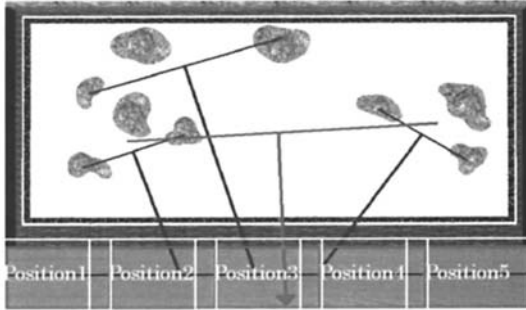


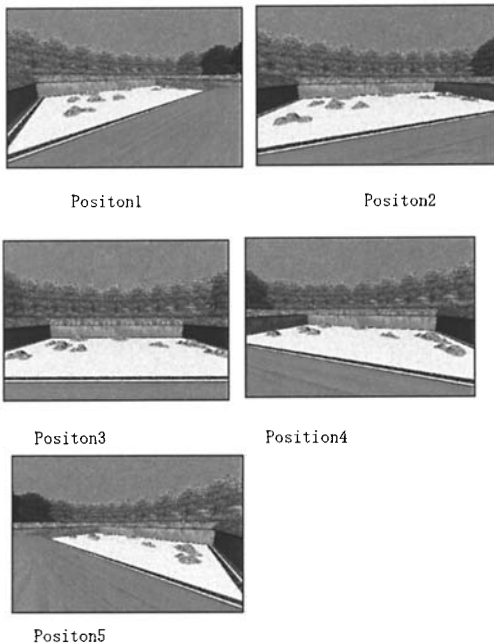
図 7 実験で用いた石庭の Reflectaphor 構成と中心軸

**実験1：自由移動による実験**

最初の実験はVRMLによるバーチャル石庭とジョイスティックを用いて、自由に鑑賞ポイントを選択しながら2~3分の間鑑賞してもらい最終的に最適だと感じる鑑賞ポイントを選んで、視界を固定してもらった。



図(8) 鑑賞ポイントと中心軸



図(9) 5つの鑑賞位置からの視界

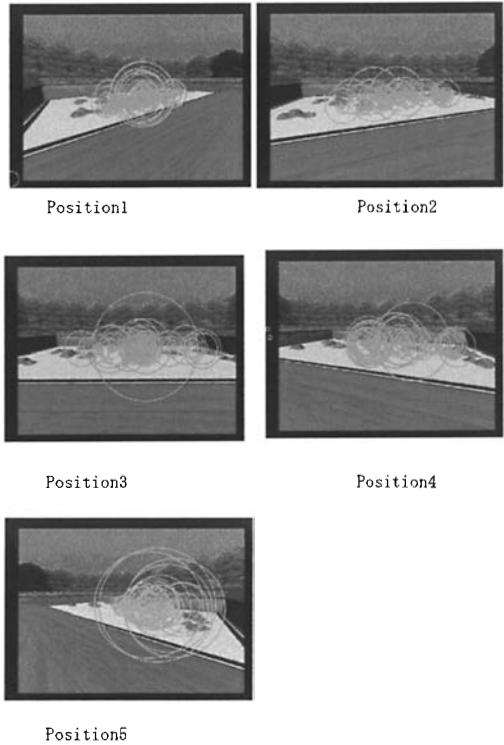
Positon1	Positon2	Positon3	Positon4	Positon5
0	6	3	2	1

表：Positionごとの最適鑑賞ポイント選択数

**実験2 鑑賞位置、視界を固定した実験**

石庭を予め5つの鑑賞場所に分けて設定してあるカメラを切り替えていき、固定画面で20秒ずつ鑑賞してもらった。結果データは視覚対象の映像と視点位置を合わせたものをVHSテープに記録したものと、毎秒30データずつ、そのときの眼球の中心方向への向きからのx軸、y軸への角度、移動速度、注視時間、瞬きの有無を記録したデータファイルである。

実験結果の一部を示す。円の大きさは注視時間の長さを表す。固定画面の位置と視界は図(10)に示したもので、これらを順番に切り替えられるようにカメラを設定した。



図(10)実験の結果例

**3.3 考察**

**実験1** 最適鑑賞ポイント付近の視点の動きでは、全の中心軸方向と真副対の群の中心軸方向を比較する動作が随所で見られた。端に移動した際は、左端の場合は副、右端の場合は対に注目しながら全体を探索する動作が見られた。注目する4つの中心軸が、もっとも向いている鑑賞ポイントであるPositon2とPosition3を選んだ被験者が12名中9名であった。

この結果は、過去の実験データによる全体の最適鑑賞ポイントを左近傍から通過する過程において比較的視点が安定しているという結果に類似し

たものであり、今後注目していくべき特徴であると考えられる。最終的にどの中心軸に強く惹かれるかは、被験者ごとに異なった結果となったが、探索過程においての個々の群に注目する動きの繰り返しは多く見られ、また石庭の鈍角三角形を構成する形状特性に沿って視点を動かす様子も見られことから、まだ解析の余地は多くあるが、形状特性は視点の動きに影響を与えていないとは言いきれないと考える。

実験2 最適鑑賞ポイントである Position2 と Position3 では、各群の中心軸が向いているが、その中でも特に全の中心軸方向へ注視時間を割いている。

各 Position に留まって、視界を固定して鑑賞する場合、鑑賞者は全体を見ることのできる方向を重点的に鑑賞しながらも、真副対の群への探索的な注視を繰り返す。

#### 4 まとめと今後の課題

本研究では、フラクタル性や Reflectaphor 構成、中心軸などの形状特性が取り入れられた石庭を鑑賞対象としたときの人の視点の動きに注目し、アイ・トラッカーを用いて鑑賞時の視点の動きを抽出することを試みた。過去の実験、新たな実験共に真副対の群への注視と全への視点の注視の繰り返しのパターンが見られた。鑑賞者は中心軸が最も集まっている場所を最適と感じる。

今回の実験の問題点の検証でも示したように、今後の展望としては身体的な問題も考慮して、よりリラックスして鑑賞することができる環境を考慮して実験を行いたいと考えている。また、注視距離や人間の視界の特性を考え、視界をもっと覆うような環境や、頭を固定しなくても利用できるアイ・トラッカーの使用など、もっと実環境での鑑賞に近い条件で不必要なノイズの少ないデータを取れる実験を行いたい。また、鑑賞者が何かに気を取られずにゆったり鑑賞できているかということを探ることや、視点の動きのさらに上のレベルでの鑑賞者の心理や認知過程を探る。

#### 参考文献

- [1]: “Fixation Maps: Quantifying Eye-Movement Traces” Wooding, D. ETRA symposium (2000)
- [2] Interactive evolution of L-system grammars for computer graphics modeling, J. McCormack, Biology to Computation, pp. 118-130, Amsterdam, Netherlands: IOS Press, Aug./Sept. 1993.
- [3] Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation, Hideyuki Takagi, Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 9, pp. 1275-1296.
- [4] Visual structure of a Japanese Zen garden, Gert J. Van Tonder, Michael J. Lyons, Yoshimichi Ejima, Nature, vol. 419, pp. 359-360, Sep26, 2002.
- [5]: 「インタラクティブ G A を用いたバーチャル石庭」筑波大学システム情報工学研究科修士論文 難波政佳 平成15年度
- [6]: “Virtual structure of Japanese Zen garden” Gert. J. Van Tonder etc Nature, vol. 419, pp. 359-360
- [7]: Leyton M. Comp. Vis., Graph., Img. Proc. 38, 327-341 (1987)
- [8] 日本庭園の美 龍安寺 枯山水の海, 西川孟, 株式会社集英社.
- [9]. FRACTALS THE PATTERNS OF CHAOS, JOHN BRIGGS, 丸善株式会社, 1995.
- [10] The Science of Fractal Images, Springer, 1988, Chapter 1, Fractals in nature: From characterization to simulation.
- [11] Visual structure of a Japanese Zen garden, Gert J. Van Tonder, Michael J. Lyons, Yoshimichi Ejima, Nature, vol. 419, pp. 359-360, Sep26, 2002.
- [12] Biological Shape and Visual Science (Part 1), Harry. Blum, Journal of Theoretical Biology, vol. 38, pp. 205-287, 1973.