

没入型 VR を用いた VR 石庭における視線解析

伊藤峻一† 蔡東生†

本研究では、没入型 VR 上で CG 表現された VR 石庭を鑑賞する被験者にアイ・トラッキング実験を行い、視線移動の観点から日本石庭の美の解析を目指す。今回、その第一段階として新たに没入型 VR システムを構築したため、これについて報告する。

Visual analysis of Japanese rock garden using Immersive virtual reality and Eye-tracking

Shunichi Ito† and Dongsheng Cai†

We purpose the analysis of the beauty of the Japanese rock garden from the viewpoint of human eyes movement by eye-tracking experiment using virtual 3D rock garden on immersive virtual reality system. As the first stage, we built the new commodity-based immersive VR system.

† 筑波大学システム情報工学研究科
University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Engineering

1. はじめに

人間の行動を視覚の面から解析しようとする研究は古くから行われてきた。近年では、アイ・トラッカを用いた視覚運動測定が可能となり、視線の動きを解析に用いる研究が様々な分野で行われている。

その中で我々の研究室では、以前から日本石庭を対象とした視線解析実験を行ってきた。人が何かを鑑賞する際に、必ず自分が興味を惹かれる部分に視線を向ける。よってその視線の動きには対象の構造・構成要素がもつ特性が反映される可能性が高い。そして日本石庭の設計は完全な自由創作ではなく、「様々な慣習的設計ルール」に基づいていることが判明している。したがって、鑑賞者の視線移動の分析が、古くから人々を引きつけてきた日本石庭の美しさの構造的要因の解明に繋がると期待できる。

先行研究として、遺伝的アルゴリズムを用いて「慣習的設計ルール」を取り入れた VR 石庭の設計ツールが難波により開発され[1]、これを用いて CG で作成した VR 石庭を用いての視線解析実験が佐久間により行われている[2]。現実ではなく VR 環境で実験を行う利点として、まず視線解析実験は準備に時間が必要であり、実際の石庭で長時間・複数回の実験を行うのは難しく多くのデータがとれないという点がある。また、CG で石庭を再現するため、現実に存在する石庭だけでなく様々な構成の石庭を解析できる。その場の空気・音といった石庭構造以外の要素を統一できるため、解析内容を構造要因に絞ることも可能である。

しかし佐久間の実験環境はスクリーン 1 面の簡易的なシステムであり、より実環境での鑑賞に近づけることが課題とされていた。

このため筆者は、VR 石庭の鑑賞環境を没入型 VR へと拡張してより現実感を高めることを提案し、今回その第一段階として、実験に利用する没入型 VR システムを新たに製作した。本稿ではそれについて報告する。

2. 先行研究

佐久間による実験では、VRML で VR 石庭を製作し、プロジェクタで 120cm×160cm のスクリーンに 130cm×95cm のサイズで投影したものを、250cm 離れた位置から観賞する。測定は頭部を固定して行う。鑑賞者は、ジョイスティックにより自由に鑑賞ポイントを移動できる。被験者は 12 名であった。実験の様子を図 1 に示す。

視線方向と注視時間に注目した解析が行われたが、強い共通性を持った解析結果は得られなかった。実験の問題点として、

- ・ジョイスティック操作に鑑賞者の意識が向いた
- ・スクリーンと鑑賞者の距離が長い
- ・鑑賞者は頭部を動かさない

といったものが挙げられた。より実環境での鑑賞に近い条件が求められている。



図 1 先行研究の VR 石庭視線解析実験風景[2]

3. 没入型 VR

没入型 VR とは、ユーザの視界を立体映像で覆い、映像の中に自分が入り込んだかのような高い臨場感、すなわち没入感を得ることができる VR システムである。3D 映画のようなコンテンツと VR との最大の違いはそのインタラクティブ性にある。ユーザ位置をセンサで計測して行動をリアルタイムに反映させるため、VR 空間とユーザとの一体感は一層高まり強い現実感が生まれる。これを用いて、エンターテインメント、乗り物の運転訓練装置、建築シミュレーション、人体の反応計測実験等に利用されている。

石庭の視線解析に没入型 VR を導入する利点は、その現実感の高さである。1 画面の 2DCG では表現できなかった広い視野や奥行き感覚、運動視差の表現が可能となり、より現実に即した実験結果が得られる。

従来、没入型 VR では導入の難しさが問題とされてきた。一般的に没入型 VR は大型装置を含む複数の構成要素の組み合わせであり、導入時は高コストをかけて購入するか、用途に合わせて利用者が独自に設計して構築しなければならないのが現状であり、現実での有効な活用はそれほど多くない。しかし、近年のハードウェア低価格化および急速な 3D の普及に伴い、自前での没入型 VR 構築は十分可能な環境になりつつある[3]。

既存の没入型 VR システムは、製作されてから十数年も経ったものが未だに使われており、古いシステムでは日進月歩する研究と技術に対応できないケースもあるという。このような現状において、没入型 VR は必ずしも大規模高性能である必要はなく、用途に応じて柔軟に各自が構築していくケースが必要になってくると考えられる。それらのノウハウが蓄積することで、現在有効な活用が少ない没入型 VR の利用が広がることも期待できる。

これらを受けて、筆者は VR 石庭上の視線解析実験の環境改善を目指し、没入型 VR

システムを今回新規に構築することにした。それに伴い、没入型 VR の構成要素や特徴を調査し、実験用システムを試作した。

4. 没入型 VR の構成要素

没入型 VR の各構成要素について代表例とその特徴を述べ、新規制作する際に適する構成について考察する。

4.1 映像表示部分

広視野を覆う立体映像は没入型 VR の要であり、その表示にスクリーンを用いるか HMD を用いるかで形態が大きく異なる。

4.1.1 スクリーン

スクリーンにプロジェクタで投影する方法は、代表例として CAVE[4]がある。これは複数のスクリーンをユーザを囲む部屋のように配置したもので、正面・横面・底面の 3 面のものや、6 面全てを覆うもの等、面の配置は自由である。他には、ドーム型スクリーンを用いるもの、1 面スクリーンを奥側に傾けたもの、等様々である。共通する特徴として、大画面表示を行うために複数のプロジェクタで連続した映像を表示する点がある。また、大型スクリーンを用いるため必要スペースが大きく、スクリーンやプロジェクタを固定する機構を用意しなければならない。

4.1.2 HMD

HMD を用いる利点に、省スペースで広視野立体映像を表示できること、およびステレオ視における左右視差の分離に優れることがある。視野が完全に覆われるため没入感是非常に高い。しかし広視野表示が出来る HMD は高額である。近年一般向けに販売され始めた 3D 対応 HMD は視野角が狭く、高い没入感を得るには難しい。

今回のシステム構築には HMD は用いずスクリーン投影型とした。本節以降は基本的にスクリーン投影型を想定した内容とする。

CAVE と HMD の例を図 2 に示す。

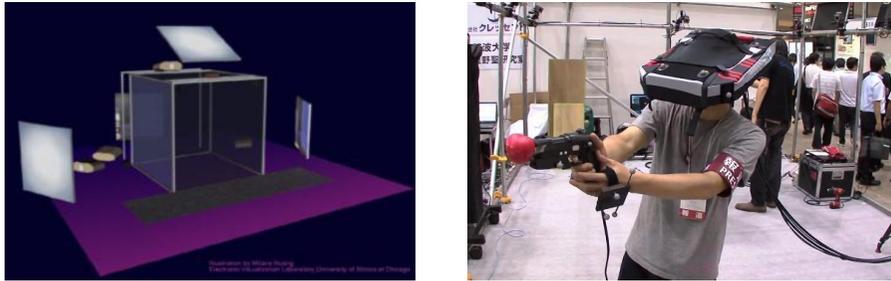


図 2 没入型 VR の例 (左 : CAVE[4] 右 : HMD[5])

4.2 両眼視差提示手法

近距離における立体感の知覚要因で最も重要なのは両眼視差である。両眼視差の提示にはメガネ式と裸眼式があるが、裸眼立体視の手法は大画面化が簡単でないものが多く、現在実験目的での新規構築には向かない。したがって今回はメガネ式を用いる。メガネ式立体視は、大きく分けて Passive-3D と Active-3D の 2 種類となる。

4.2.1 Passive-3D

偏光フィルタを利用して左右目の映像を分離する方式である。偏光フィルタは安価に入手でき、利用可能なプロジェクタやビデオカードにはほぼ制限がない。しかしスクリーンも偏光を崩さない特殊なタイプが必要となる。またプロジェクタは 1 面につき 2 台必要であり、さらに投影面を正確に重ねなければいけないため、設置が難しい。

4.2.2 Active-3D

左右目の映像を高速で切り替え、それに同期したシャッターメガネで映像を分離する方式である。メガネの規格が統一されていないため、それぞれに対応したビデオカードやプロジェクタが必要となる。プロジェクタは 1 台で済むが、120Hz のリフレッシュレートが必要である。特殊なスクリーンを必要としない。

4.3 3D センサ

ユーザの 3 次元位置計測を行うことで、ユーザと VR 空間とのインタラクションが可能となる。没入型 VR ではヘッドトラッキングが重要であり、頭部の移動に合わせて映像を変化させ運動視差を提示することにより、没入感が高まる。また手足の位置を測定し、VR 空間中の物をつかんだり、体の動きを検出してコントローラに使ったりと、表現の幅が広がる。市販のセンサを用いる以外にも、近年はゲームコントローラの WiiRemote や Kinect 等を用いた安価な入力デバイスの利用が盛んになりつつある。

4.4 PC

必要なスペックは表示するコンテンツに左右されるが、リアルタイムに多画面 3DCG 描画・ユーザ位置検出を行うため比較的高性能な PC が必要になる。表示面が多くなる場合、PC クラスタを組むのが一般的である。

Passive-3D の場合は表示 1 面につき 2 画面出力が必要となるため、複数出力を確保しなくてはならない。

Active-3D の場合、1 面につき 1 画面出力が良いが、複数ビデオカードを用いる場合、映像出力を同期させる必要があるため、同期用装置と同期機能に対応したビデオカードが必要となる。また、用いるソフトウェアによって、ビデオカードの要件が異なってくる。

4.5 ソフトウェア

開発の手間を考えると、VR 構築のために専用ソフトウェアを用いることが一般的である。射影計算やヘッドトラッキング、入力デバイスの処理等、VR 空間構築に必要な機能をライブラリで処理することで、開発者はコンテンツ開発に注力することが出来る。VR 用の基本 API として最も使われているのは CAVELib である。しかし商用のため高価かつコード修正が不可でありカスタマイズ性が低い問題点がある。他にフリーのライブラリとして、FreeVR や VR Juggler がある。また、独自のライブラリを開発して用いているシステムも多い。

上記は基本 API であるため、3D オブジェクトの表示には OpenGL 等のグラフィクス API を用いて記述する必要があり効率が悪い場合もある。しかし、VR 用ライブラリに加えて、モデルデータ読込、リアルタイムレンダリングエンジン、物理エンジン、GUI によるプログラミング支援、等の機能を統合したインタラクティブ 3D アプリケーション開発環境が現在販売されており、これを用いて没入型 VR を構築している例も多い。これらを利用すると、3D モデルをプログラミングの知識無しに直感的に配置し、VR アプリケーション開発が可能となる。ソフトウェアの例としては Virtools や Quest3D がある。

これらのソフトウェアも OpenGL や DirectX といったグラフィカル API がベースとなっているが、API によっては VR で重要な立体視に関する機能に制限が生じる。OpenGL は QuadBufferStereo に対応しており、視差や輻輳等を細かく記述できる。しかし対応するビデオカードが高価な上位機種となる。DirectX の場合、ドライバで輻輳感のある程度制御できるものの自由度が低い。しかし安価なビデオカードで立体視可能である。ソフトウェアによっては片方の API しか対応していない場合があるため注意が必要である。

5. 試作システム

これらの構成要素を元に、実際に没入型 VR 環境を試作した。スクリーン製作難度や視野の広さ、対応ソフトウェアを考慮した結果、CAVE をベースとして設計を行った。設置イメージを図 3 に示す。

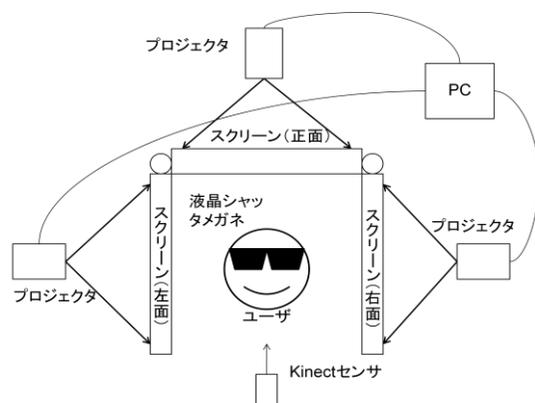


図 3 システムの設置イメージ

5.1 スクリーン部分

正面・右側面・左側面でユーザーをコの字型に囲む 3 面の連続スクリーンを製作した。これを図 4 に示す。Passive-3D にも対応できるように、偏光を崩さないスクリーンである Da-Lite 3D Virtual Black を用いた。背面から映像を投影するリアスクリーンであるため、ユーザーにより影ができることはない。スクリーンサイズは 1 面が 240×180cm で、床高は 20cm である。スクリーンフレームをアルミパイプで作成し、ハトメ加工したスクリーンに紐でくくりつけて固定している。試作当初は、システム非利用時は格納しておけるように折り畳み機能をもったフレームを製作した。しかし利用毎にフレームを展開設置し直すと、プロジェクタの投影面がズレたり、各種センサの位置関係が毎回ずれてしまい非常に不便であったため、現在は固定式のフレームとしている。



図 4 制作したスクリーン

5.2 プロジェクタ

設置スペースの問題で、短焦点タイプのプロジェクタを用いるのが現実的である。試作初期は Passive-3D を想定していたが、2 台のプロジェクタ投影面を合わせるのが難しく、設置の手間と立体感の損失が問題となった。そのため現在は Active-3D を採用している。現在用いているプロジェクタは 120Hz 出力可能な、BENQ MP772ST である。スクリーンフレームにプロジェクタを設置できる箇所を用意し、そこに固定する。Active-3D で 3 面以上の CAVE を組む場合、複数ビデオカードの同期をとる必要があるが、機材の関係上現在未実装のため、現在は 3D 表示できるのは 2 面までとなっている。

5.3 PC

用いた PC は以下の構成である。

- OS : Windows7 Professional 32bit
- CPU : Intel Xeon X5675
- グラフィック : Nvidia Quadro FX4600 ×2
- メモリ : 4GB(2.98GB)
- 3D メガネ : Nvidia 3Dvision Pro
- 開発環境 : Quest3D v4.3 VR Edition

5.4 3D センサ

3D センサには Kinect を用いた。制御ライブラリにはフリーの OpenNI と Prime Sensor NITE を用いている。これにより空間の奥行計測や、人間の領域や骨格検出、ジェスチャ認識が可能である。

6. テスト実験と考察

簡易的なウォークスループログラムを開発し、試作システムでテスト実験を行なった。実験風景を図5に示す。ヘッドトラッキングによりユーザの移動に応じて映像が変化し、かつジョイスティックの操作でシーン全体の移動ができる。



図5 テスト実験風景

実験の結果、複数面への大画面立体視およびヘッドトラッキングによる運動視差提示により、試作システムで高い没入感を得られることが確かめられた。本システムは今後VR石庭を開発して動作させる環境として十分利用可能だと考えられる。

利用して判明した問題点としては、基本的にはユーザの広視野を覆えているものの、スクリーンの高さが床高20cm-200cmであるため、下方向の視野角に比べて上方向の視野角が狭いことがある。プロジェクタの4:3という縦横比と設置スペースを考慮してサイズを設定したが、実際使ったところ、より高い没入感を得るには更に高さが必要だと感じた。また、一般的なCAVEは底面スクリーンをもつことが多いが、本システムは底面が無いと違和感が大きいという意見があった。

また、Kinectにより実装したヘッドトラッカだが、ユーザの動きと映像の追従に若干のラグが生じた。体感としては問題ない程度だったが、高精度が求められる実験に用いるのは難しいと思われ、視線解析に影響が出るか調査が必要である。現在は1台のPCで動作しているため、映像生成とトラッキング用のPCとで処理を分けることにより改善される可能性もある。

KinectをCAVEで利用した例、特にヘッドトラッカとしての利用は現在そう多くなかったが、今回試作した結果、今回のようにある程度簡易的に没入型VRを構築する際に容易に利用可能なヘッドトラッカとして選択肢の一つになりうるということが確かめられたといえる。

7. まとめと今後の展望

今回新たに没入型VR環境を構築するにあたり、基本知識やハードウェア、利用可能ソフトウェアについて情報が少なく構築には苦勞したが、情報が十分でありさえすれば、今回のようなシステムの導入は十分可能なことが分かった。現在デスクトップや単面スクリーンで行われているCGを用いた可視化・知覚解析の実験環境をVRへと拡張する敷居は、大分下がりつつあると言えるだろう。

システムの改良としては、現在Kinectをヘッドトラッカとして利用しているが、Kinectは頭部位置だけでなく手足の位置や動作認識が行える。これを利用して、体の動きをコントローラとしてCAVEを操作するインタフェースの開発が考えられる。ジョイスティックなどを使わず直感的な操作が可能にすることで、没入感をより高める効果が期待できる。

今回没入型VRシステムとしての基礎部分は完成したため、今後は最終目的である視線解析実験を行うため、没入型VR上で動作するVR石庭プログラムを開発し、実験とデータ解析を行う。同時に、今回開発したシステムの利用実証も目指す。

データを得た後どのような解析方法を用いるかという問題や、VR石庭と現実の石庭とでの結果比較が必要である、という問題があるが、関連研究として王らが龍安寺石庭で視線解析実験を行っており[6]、まずは王らのデータと手法をもとに解析を行う。

参考文献

- 1) 難波政佳: インタラクティブGAを用いたバーチャル石庭, 平成15年度筑波大学理工学研究科修士論文
- 2) 佐久間大典: アイ・トラッキング技術を用いたバーチャル石庭の景観解析, 平成17年度筑波大学システム情報工学研究科修士論文
- 3) Dave Pape, Josephine Anstey, Bill Sherman: Commodity-based projection VR, SIGGRAPH '04 ACM SIGGRAPH 2004 Course Notes
- 4) Dave Pape: The CAVE Virtual Reality System
<http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/>
- 5) 株式会社クレセント: High End Wearable Display Device HEWDD-1080
<http://www.crescentinc.co.jp/HEWDD-1080.html>
- 6) 蔡東生, 大石誠也, 望月茂徳, 王雲, 浅井信吉, 福本麻子: Visual PageRankによる龍安寺石庭解析, 情報処理学会研究報告. グラフィクスとCAD研究会報告 2009-CG-137(4), 1-6, 2009-10-29