月光環境下における禅宗様庭園のシミュレーション分析

The Simulation Analysis of Zen Buddhism Gardens under the Moonlight Environment

三谷 徹* 岡部佳代子**

Toru MITANI Kayoko OKABE

Abstract : This study aims to observe the spatial characteristics of Zen Buddhism gardens perceived under the minute light environment of the moon. Through the quantitative analysis by PC-simulations based on 'radiosity program,' the following points are recognized; 1) the amount of moonlight reflection from the white sand surface in the garden is about fifteen times compared to the wet soil surface, and the building interior gains 1.9 times the brightness, 2) this intensive contrast of brightness between garden and building interior causes a distinctive spatial perception, 3) gardens are carefully designed to take advantage of hourly and seasonal change of moonlight. Those built in latter periods achieve better effect of the reflection through the night and seasons. Meanwhile the possibilities of PC-simulation for the garden design study are realized as followings; 1) the comparative analysis by hypothetical modeling is effective to figure out the intention of the design, 2) a number of gardens are able to be observed simultaneously under the same moonlight condition without any climate influence.

Keywords: moonlight, light analysis, spatial perception, Zen Buddhism garden, computer-simulation

キーワード: 月光, 光環境解析, 空間知覚, 禅宗様庭園, コンピュータシミュレーション

1. 研究の背景と目的

本研究は、禅宗様庭園を月光下の微小な光環境の側面から観察し、その夜間景観から空間特性を読み解くことを目的としている。それと並行し、解析手法として3次元モデリングソフトによるシミュレーションを用い、定量解析の可能性を試みるものである。

庭の鑑賞にあっては、光環境がその印象を大きく左右する要因となる。特に日本では古来、太陽と同じく月も大きな意味を持っていたことが知られている。たとえば「記紀」には月読之尊の神話があり¹⁾、古墳時代にも、西の方位に月を置き黄泉の国を象徴させた古墳壁画などが知られている²⁾。日本人の月観は当然作庭にも反映され、作庭記にも「滝をばたよりをもとめても月にむかふべきなり。」など月影を庭園意匠の大事とした記述がある。

特に本研究が着目する禅宗様庭園の白砂敷の月光反射効果についてはしばしば言及されてきた。しかしその記述は、印象的鑑賞の域を出ず定量的、系統的に研究したものはない。そこで本研究では以上のような文化的背景も鑑み、

- 1) 白砂反射光の効果、さらに建築部位への微小な反射効果の有無について正確な把握が重要と考え、これを定量解析し知見を得ること、
 - 2) 夜半すぎの時間帯までの経時変化を分析し、さらに冬至期と夏至期の季節間の差異についても知見を得ること、
- の2点を目的とする。一方、
- 3) PCソフトによる庭園の光環境解析の有効性を探ること、
- も目的のひとつである。当研究は、高速化、大容量化したPCを用いて光環境の微細な変化を解析することにより、形態的側面だけではなく現象的側面からも庭園空間意匠を考察するものである。既往の光環境シミュレーションが、採光計画や人工照明計画などの機能的検証に限られているのに対し、本研究のシミュレーションは夜間自然光(月光)下における空間分析の可能性を試みるものである³⁾。

使用ソフトは、光相互反射特性の計算(interreflection of

light)に優れている「ラジオシティー計算法(radiosity)」を基本とし、輝度値を算出できるformZ. RenderZone. RadioZity. v.3.5.5(以下formZと略)とし、さらに解析図作成のためにAdobe Photoshop. v.7.0.1(以下Photoshopと略)を用いる。

2. 研究対象の選択

下記の理由から研究対象を「竜安寺」「大仙院」「正伝寺」「詩仙堂」「慈照寺」の5庭園とする。

- 1) 所在地の限定: 本研究ではデジタル画像データの収集、一部実測などが重要である。そのためデータ収集が複数の事例に対し均等に行える一般公開型の庭が多い京都とする。
- 2) 築造時代の限定: 室町後期から江戸初期の寺院は、高密度にともない建築と庭の関係が濃密となり、かつ建築採光を白砂からの反射光で補おうとしたことが知られているため⁴⁾、この時代の書院を対象とする。この時代はまた、方丈南庭が機能空間から鑑賞空間に変化した時代でもあり⁵⁾、機能面、意匠面の両面から月光環境を考察するのに適している。
- 3) 京都の地勢: 洛中平野部、東山山麓部、右京山麓部それぞれの立地の差異が月光環境に与える相違を分析するため、3地勢から代表的寺院庭園を選択する。

各庭園、方丈の築年の概略をまとめると表-1の通りである。

3. 分析図の作成

(1) 3次元モデルの作成

(i) オブジェの作成

既往研究の庭園、建築の実測図に基づきモデルを形成する⁶⁾。モデルの形成範囲は、方丈建築と南庭、そして南庭に明らかな月影影響を与えられと考えられる周辺高木群とする。さらに月光反射の分析に重要と考えられる、南庭内要素および南面する建具、欄間、床、縁、軒等の建築部位は可能な限り現状を実測し、詳細にモデリングする。

*千葉大学園芸学部 ** (有)アーキデザイン

(ii) デジタル撮影を用いた形質の付与

形質による光特性を正確に再現するため、2つの方法でオブジェに形質を与える。1) 光特性(反射率, 透過率)の数値入力⁷⁾, 2) 現地でのデジタル撮影によるサンプル画像のマッピング⁸⁾, である。特に本研究にとって重要な白砂の反射効果は、実際の粒度, 罫目などにより異なってくると考えられるため、同様の天候日に撮影しそのデータをモデルにマッピングする。

(2) 照射光の設定

(i) 月の出, 月の入時刻の推定

月の出と入の時刻判定は、各庭園での測量にもとづく。まず庭園南側中央においてセオドライト(簡易測量器)を用い、月位置図⁹⁾に示される月の天空軌跡をおってゆく。これが東側で障害物に当たる方位と高度, 西側で障害物に当たる方位と高度から月の出, 入の時刻が推定できる。結果は図-1の通りである。

(ii) 月光量, 星明光量の設定

月光および星明りによる水平面照度は $0.2[\text{lx}]$, $0.02[\text{lx}]$ であることが知られている(冬至近満月日, 快晴時, 大阪近郊)¹⁰⁾。しかしソフト内では照射光量の入力単位が $[\text{w}/\text{m}^2]$ であるため, 知覚量である照度 $[\text{lx}]$ すなわち $[\text{lm}/\text{m}^2]$ を物理量である輻射照度 $[\text{w}/\text{m}^2]$ に換算する必要がある。換算は下記の4式から得られる。式1) $F=K \int P(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{lm}]$, 式2) $E=dF/dS [\text{lx}=\text{lm}/\text{m}^2]$ 式3) $P=\int P(\lambda) d\lambda [\text{w}]$, 式4) $E_e=dP/dS [\text{w}/\text{m}^2]$ (F: 光束, E: 照度, P: 輻射束, E_e : 輻射照度, S: 単位面積, K: 最大視感度 ($683[\text{lm}/\text{w}]$))。本研究では簡便のため, 比視感度 $V(\lambda)$ (最大視感度に対する比率)が, 可視光線 $380\sim 780[\text{nm}]$ の間で正規分布に近い曲線を描くとし, $\int V(\lambda) d\lambda = 0.5$ と近似した。この換算により, 月光の輻射照度: $5.8 \times 10^{-4} [\text{w}/\text{m}^2]$, 星明りの輻射照度: $5.8 \times 10^{-5} [\text{w}/\text{m}^2]$ となる¹¹⁾。月光の照射方位高度は「こよみのページ」で得られる数値を入力する¹²⁾。

(iii) 天文薄明光影響時間の考察

日出前, 日没後には天空全体に大気散乱光があり, 太陽高度 -18 度まで天文薄明光があるとされている。国土地理院地形図より, 京都中央部(大仙院位置を想定)からみる日没方位に位置する山頂の標高と距離を求め, 仰角を算定し, その値を用いて天文資料から日没時刻を推定する。その結果天文薄明継続時間は, 冬至近満月日: 日没 $16:24$, 日出 $7:20$, 天文薄明継続時間 $1\text{h}31\text{m}$ 夏至近満月日: 日没 $18:11$, 日出 $5:22$, 天文薄明継続時間 $1\text{h}48\text{m}$ となる¹³⁾。したがって, 京都における天文薄明光の影響のない時間帯は, 冬至近満月日: $17:55\sim 5:49$, 夏至近満月日: $19:59\sim 3:34$ であり, シミュレーションはこの時間帯内で行なう。

(3) シミュレーションモデルの再現性適否の確認

上記の3次元モデルと照射光の設定の適否を確認するため, 冬至近満月日に最も近い快晴日を選び, 庭園にて複数部位の照度を測定する¹⁴⁾。正伝寺における実測照度値が, 白砂面: $0.10[\text{lx}]$, 広縁面: $0.12[\text{lx}]$, 北土塀垂直面: $0.00\sim 0.01[\text{lx}]$ であるのに対し, 同モデルの同時刻シミュレーション照度計算値が, 白砂面: $0.111[\text{lx}]$, 広縁面: $0.127[\text{lx}]$, 北土塀垂直面: $0.004[\text{lx}]$ であり, モデルの光相互反射特性の再現性が確認される。

(4) シミュレーション図作成と輝度値の算出

(i) シミュレーション図

各章の分析で用いるシミュレーション図は次の2種類である。
①「景観シミュレーション図」: formZ内の「ラジオシティ計算」により, 庭園, 建築の景観を, 実際に目で見た状態に最も近く再現する描画(図-2, 4など)。
②「輝度グラデーション図」: Photoshopの画像処理を用いて「景観シミュレーション図」を輝度のグラデーション表現とした描画。これにより「景観シミュレーション図」ではほとんど暗闇のように表現される室内や軒裏などの微小な輝度変化も把握しや

図-1 月高度方位図と各庭園における月の出入時刻

表-1 5庭園と方丈建築の概要

	大仙院	龍安寺	正伝寺	慈照寺	詩仙堂
立地	洛中平地	洛北平地	右京山麓	東山山麓	東山山麓
開山	1513 開山	1450 開山	1282 開山	1483 東山殿建造	1640 瑞月楼建造
方丈	1513 本堂建造	1797 焼失後	1652 焼失後伏見	1639 本堂建造	1818 増築の際
築年	1575 一部改装	塔頭西源院移築	桃山城御成殿移築		南面座敷建造
庭園	1513 本堂と	16C末期	17C後半に	18C後半に現状	17C前半の築造
築年	同年築造	築造の説	大幅改修	銀沙灘の形態	の形態が保存

すくなる(図-3, 5, 6など)¹⁵⁾。

(ii) ヒストグラム値の測定と輝度値への換算

「景観シミュレーション図」はPCディスプレイ上の階調(0~255階調)で表現されるが, formZの輝度分析コマンドと組み合わせ輝度値を測定できる。庭園白砂の最も明るい部分について, Photoshop内コマンドでヒストグラム平均値を求め, それをformZ内の輝度分析コマンドで求める輝度値と対応させることにより, 各部位の輝度値は按分計算により求められる(図-7)。

4. 分析1-白砂による反射光効果と定量解析

最初に南庭が白砂敷きであることがどの程度の反射光効果をもつものかを確認する。

(1) 「景観シミュレーション図」の作成と輝度値の測定

京都中心部に位置し, 南庭の形態が典型的な矩形であり, 白砂が全体に敷込まれた大仙院をとりあげ, 南庭が白砂敷の「現状モデル」, 南庭をすべて湿土面とした「仮想モデル」¹⁶⁾の2つのモデルを準備する。同じ月光環境下(最も月高度が高い冬至近満月日, 快晴, 中天時)で各々の「景観シミュレーション図」を作成したものが図-2, 庭園, 軒裏, 広縁, 室内, 各部分の輝度値を測定したものが表-2である。

(2) 知見と考察

「現状」, 「仮想」ふたつのシミュレーション(図-2)から, 白砂自体の反射効果が空間の現れ方に大きな差異をもたらしていることがわかる。「現状モデル」では, 白砂が高い輝度を持つことにより暗闇の中に強い焦点をつくり出しているが, 「仮想モデル」では, 月光入射が感じられないほど, 庭園も広縁も暗闇の中に沈み込んでいる。一方, 白砂による大きな輝度差は, 方丈と庭園に際立った対峙関係を生んでいる。方丈に正対する矩形の庭園という禅宗様の簡潔な空間構成は, 昼間以上に, まさに月光下において象徴的, 明快であることが理解される。

以上のような空間知覚の差異を与える白砂自体の輝度値を具体的に計測してみる(表-2)。南庭の地表の輝度は, 湿土面である場合が $22.40 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ であるのに対し, 白砂の輝度は約15倍もの, $331.90 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ を得ている。

さらに白砂からの反射光が建築に及ぼす効果を計測すると, 軒裏で $4.58 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ から $8.84 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ に, 広縁面で $7.66 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ から $14.45 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ に, 方丈室内で $10.50 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ から $19.86 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ に上昇している。このことは白砂の輝度が上がることで, 同時に建築部位も平均約1.9倍の間接光を得ていることを示している。白砂敷による建築内空間へ

の月光反射は定量的にも十分大きく、特に人工照明のない当時の夜間環境では、室内の明るさを得るのに効果があったであろうことが推察される。

5. 分析2－反射光効果の5庭園における比較分析

4章において、大仙院をモデルとした白砂の月光反射光の効果が定性的にも定量的にも確認できた。そこで次に、5庭園各々における反射光効果の特徴と差異について観察する。

(1) 輝度グラデーション図、景観シミュレーション図の作成

5庭園を比較するため4章と同じ視点で、「景観シミュレーション図」を作成し、それを「輝度グラデーション図」としたものが図-3である。さらに建築内からの庭園の表情、および室内の光環境を観察するため、方丈室中2間奥から南庭に正対する視点で「景観シミュレーション図」を作成したものが図-4である。

(2) 知見と考察

(i) 中間領域への反射光効果の相違

図-3から、庭園と方丈の接する建築中間領域の光環境に5庭園の間で顕著な差があることがわかる。竜安寺では、白砂からの反射光は軒裏先端にしか達しておらず、中間領域で急速に減衰し建築内に達していない。一方詩仙堂では、この中間領域の明るさが特徴的である。座敷すぐ脇まで敷き込まれた白砂、短い軒、雨戸鴨居上部と座敷欄間部分にはめ込まれた障子などの工夫が施され、間接光の扱いに十分な効果を発揮していることが理解される。また輝度の低い犬走りの影響にも気づく。大仙院、正伝寺は輝度の低い犬走りが存在することで、広縁と白砂の間に強い境界がつくりだされているが、慈照寺、詩仙堂では暗い犬走りがなく、明るく輝く庭園と、ほの明かりをたたえる建築内部空間がよく連続している様子がわかる。

(ii) 方丈室中の光環境

5庭園の間で、特に建築内部への反射光効果に差があることが観察されるため、図-4を用いて5庭園各々で、方丈室中の床面の輝度値を測定する。その結果が表-3である。

詩仙堂、慈照寺の室中は $19\sim 21 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ であり、室内が極端に暗い竜安寺を除き、大仙院、正伝寺の $13\sim 16 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ と比べると、約1.4倍の輝度を得ていることがわかる。この最も大きな要因は、障子を透過してくる拡散光であることが図-4から推察できる。障子は庭園白砂からの反射光を透過し平均 $70\sim 80 \times 10^{-4} [\text{cd}/\text{m}^2]$ の輝度を確保しており、これが室内光量に与える影響が大きい。

大仙院、竜安寺方丈は16世紀以前の建立形態をとどめていると考えられ¹⁷⁾、南庭に向かう開口部にも棧唐戸、蓐戸が固定的に組み込まれている。これに対して慈照寺、詩仙堂は、江戸期の障子を中心とする建具様式をもつ書院であり、冬期の月明かりを有効にかつ柔らかい間接光として取り入れることを可能にしていたことがうかがわれる。

6. 分析3－月光反射効果の経時変化と季節間差異

以上の4章、5章の分析で、白砂の月光反射効果が庭園と方丈建築双方に確認できたので、次に月光環境が経時的にどのように変化するかを分析し知見を得る。

日本では深夜まで月を愛でる風習が知られている。「居待月」、「臥待月」など深夜から明け方にかけて出る月にも名前がつけられ、二十二夜待、二十三夜待、二十六夜待など「月待ち」の行事も各地にみられる¹⁸⁾。このことから、満月日などでは深夜にまでわたる庭園の風情に意匠的関心が払われていたことが推察されるため、月の出から夜半過ぎの時間帯まで分析する。また月高度の最も高い冬至近満月日と、最も低い夏至近満月日にてシミュレートし季節間の差異を比較考察する。

図-2 大仙院の景観シミュレーション図

表-2 大仙院 現状・仮想モデルの各部の輝度比較

[$\times 10^{-4} \text{ cd}/\text{m}^2$]			
部位	現状モデル	仮想モデル	
白砂	331.90	22.40	
軒	8.84	4.58	
広縁	14.45	7.66	
室内	19.86	10.50	

表-3

図-4から計測した方丈室中の床面平均輝度値

	[$\times 10^{-4} \text{ cd}/\text{m}^2$]
竜安寺	1.28
大仙院	15.78
正伝寺	13.26
詩仙堂	18.80
慈照寺	20.82

図-3 (左) 広縁西南からみた輝度グラデーション図

図-4 (右) 方丈室中2間奥からみた景観シミュレーション図

冬至近満月日
18:00 (左)
0:45 (右)

図-9 慈照寺 襖絵の輝度グラデーション図

図-10 夏至近満月日の陰影複合平面図

(i) 輝度グラデーション図の作成

庭園、建築内双方の光環境の変化を観察するため、方丈室中2間奥から南庭に正対する視点で、経時的に「景観シミュレーション図」を作成する。シミュレーション時刻は、3-2(3)で得られた天文薄明光の影響を考慮し、冬至近満月日：18:00, 20:00, 22:00, 0:00, 0:45(中天時), 1:30, 3:00, 5:00, 夏至近満月日：20:00, 22:00, 0:00, 0:45(中天時), 1:30, 3:00とする。さらにそれを「輝度グラデーション図」としたものが図-5および6である。

(ii) 景観シミュレーション図内の領域別輝度値の測定

庭園と建築の各部位輝度を計測し、その相互関係を経時的に調べる。図-7に示すように、各時刻の「景観シミュレーション図」を6つの領域「白砂領域」「垣領域」「外領域」「軒領域」「広縁領域」「室中領域」に分割し、図-7の方法により各領域の平均輝度値を求める。その経時変化を図-8a, 8bに示す。

(1) 冬至近満月日の経時変化分析より得られる知見

(i) 庭園の光環境の経時変化

「白砂領域」の輝度が多領域に比べ顕著に高いことが、図-5より観察され、定量的にも図-8aから確認される。5庭園ともその輝度は $250 \times 10^{-4}[\text{cd}/\text{m}^2]$ 以上を維持している。

しかし図-8aのグラフ形状から、その経時変化には2つの傾向があることに気づく。月の出から最高値に急速に輝度が増加する「台形型」、中天時0:45にむけて輝度が緩やかに増加する「山型」である。大仙院、竜安寺の2庭園が前者、慈照寺、詩仙堂、正伝寺の3庭園が後者である。これは図-5で観察すると、月光が入射しはじめる18:00~22:00の庭の表情の差となって現れている。

要因のひとつは立地の差異と考えられる。慈照寺、詩仙堂の2庭園は東山に位置し山稜に囲まれている。このことは月の出時刻の差異をもたらす(図-1)。図-5にみるように、大仙院18:00ではすでに庭園白砂に月光入射があるのに対し、慈照寺18:00では月光入射が全くない。輝度値を測定すると、前者は $65 \times 10^{-4}[\text{cd}/\text{m}^2]$ を得ているが後者は $30 \times 10^{-4}[\text{cd}/\text{m}^2]$ にしか至らない。

さらに考えられる要因は、庭園内の植栽の有無である。植栽はそれ自体の輝度を連続的に変化させるとともに、白砂に投影する影の量も大きく変化させている(図-5正伝寺、詩仙堂)。正伝寺では、立地的に月の出は早い、虎の子渡しに配されたツツジの刈り込みが陰影を連続的に変化させ、結果として庭園領域全体の輝度が緩やかに変化する「山型」をとる。

一方、慈照寺は「白砂部分」内に植栽がないにもかかわらず「山型」の傾向を示す。それはその特別な造形によることが図-5より観察される。銀沙灘の傾斜部分が夜間を通じて柔らかな陰影をたたえ、その変化が銀沙灘に立体感を与えるとともに、月の動きにともなう庭の表情と平均輝度の連続的な変化をもたらしている。

図-5 冬至近満月日 方丈室中2間からみた輝度グラデーション図

図-6 夏至近満月日 方丈室中2間からみた輝度グラデーション図

図-7 景観シミュレーション図より各領域輝度値を求めるプロセス

図-8 a.b 5 庭園における各領域輝度値の経時変化

以上「台形型」と「山型」という異なる庭園輝度変化の要因に関して考察した。室町期の洛中の立て込んだ塔頭のひとつである大仙院などでは、「台形型」の特性を持つことで、早くから月光反射を有効利用することが現実的であったであろう。一方江戸期の詩仙堂や慈照寺となると月光の鑑賞そのものが庭園意匠の一テー

マとなり、白砂輝度にも経時変化を求め、光量増加の変化をある程度の時間をかけて鑑賞する工夫がなされていたと推察される。

(ii) 建築内光環境の経時変化

まず、月高度が高くなるにつれ方丈建築内が明るくなるのが5 庭園ともに図-5 によく現れており、白砂から室内への反射光効果のあることをさらに裏付けている。

しかし図-8 a の 18:00 から中天時刻 0:45 に向かう「室中領域」輝度値の増加量を測定すると、竜安寺:5%, 大仙院:40%, 正伝寺:16%, 詩仙堂:31%, 慈照寺:77%と大きな差がある。竜安寺の室内輝度値が低いことは5-(2)(ii)に述べた通りであるが、経時変化も小さい。対照的に時代の下った詩仙堂、慈照寺の経時変化の大きさは、反射光をうまく取り入れた結果であることを意味している。一方時代は早いものの、方丈と南庭が一体に建立された大仙院が大きな経時変化を示していることは興味深い。

以上の結果からさらに、慈照寺方丈室中の北側にある襖絵に当たる光量を観察してみる¹⁹⁾(図-9)。ここでは冬至近満月日、月の出以前と中天時の輝度シミュレーションのみしか示さないが、襖絵の輝度は月の出以前で $10.37 \times 10^4 [\text{cd}/\text{m}^2]$ 、中天時 $22.25 \times 10^4 [\text{cd}/\text{m}^2]$ と2倍以上である。月が昇るとともに襖絵が室内でにわかに浮かび上がり、庭園と室内が一体となった月光環境の経時変化がうかがわれる。

(iii) 土塀、向月台の反射光の経時変化

庭園のその他の要素にも、特徴的な経時変化が観察される。竜安寺では、金泥塗²⁰⁾の土塀が夜間を通じ白砂からの反射光を受け独特の表情をつくり出している(図-5 竜安寺 22:00 以降)。これは庭園南側境界が生垣である大仙院と比較すると顕著な違いである。また正伝寺でも、その方位の特異性から、明け方に西に傾いた満月が暗闇の中に漆喰塗の白塀のみを浮かび上がらせる時間帯があり特別な表情をみせている(図-5 正伝寺 5:00)。

慈照寺においては土壁、生垣にあたる要素がないが、あえて特別な庭園要素である向月台の輝度変化を調べた。その輝度上昇は図-8 a に見る通り銀沙滩よりおよそ2時間早い。向月台の名称を表すがごとく、庭園の中でいち早く月光を反射する様子うかがえる(図-5 慈照寺 20:00)。方丈からの鑑賞においても、円錐台の形状が時々刻々とまわりこんでゆく陰影の動きを演出していることが観察される。陰影の動きという点では、明暗にあまり変化のない銀沙滩と好対照をなす要素であることが確認される。

(2) 夏至近満月日の経時変化分析より得られる知見

(i) 庭園の光環境の経時変化

冬至近満月日と比較して最も特徴的なことは、全時間帯にわたる白砂輝度の著しい低下である(図-8 b)。冬至近満月日では室内の5倍から10倍と突出した輝度をもっていた白砂部分も、夏至近満月日では他領域を下回る場合がある(図-8 b 竜安寺 22:00 以降、大仙院 0:00~1:30)。中天時輝度値で計測すると、平均して、夏至では冬至の約35%に落ちている。しかし竜安寺、正伝寺、大仙院が20~30%まで落ち込むのに対し、詩仙堂、慈照寺はほぼ50%内外の減衰にとどまり、図-6にみるように夏期においても月光下の白砂は景観中の焦点となり得ている。

第2の特徴は、庭園輝度値の経時変化に一貫した特徴が見られないことである。月高度が高くなるにつれ庭園領域が暗くなるという逆行した現象さえ生じている(図-8 b 大仙院、正伝寺)。東面する正伝寺においては夜半前に白砂が浮かび上がる時間帯が若干あるものの、図-6にみるように竜安寺、大仙院では庭園領域輝度が建築部位輝度より低く、月光下の明るい庭園という印象は失われている。庭園領域と室内領域の輝度差がない状態は、5 庭園とも夜半前で著しい。この現象から夏期には、月光下の庭園は夜半前には特別の印象を与えず、むしろ夜半過ぎにその趣を楽

しんだのではないかと考えられる。

夏期に「白砂部分」を暗くしている要因のひとつが周辺樹木の陰影である。たとえば冬至期には著しい明るさを確保した大仙院では、現在南側に10m近くの常緑樹が屹立しているために、夜間を通じて影が庭園を横断する(図-6 大仙院 0:00~1:30)。対照的に、詩仙堂、慈照寺は、夜間を通じて樹木の影がささず、白砂輝度が維持される庭園構成であることが理解される。樹木の陰影の影響を最も受けていないのは慈照寺である。東山の立地上月の出は遅いが、その後は竜安寺、大仙院、正伝寺のような陰影の影響を受けることなく、銀沙灘の大半が月光を受ける状態を持続する。この要因が、銀沙灘の高さ、そして特異な曲線形状にあることに気づく。銀沙灘の南東を大きくえぐる形状は、そのまま樹木群の複合陰影に一致しており、白砂面は、夏至近満月日でも均しく月光を受けるようになっていることが認識される(図-10)。

(ii) 建築内光環境の経時変化

冬至近満月日とのもうひとつの大きな差異は、月光が広縁や方丈内に直接入射し高い輝度値を与えていることである(図-6 0:00以降にみる竜安寺、大仙院の広縁、詩仙堂、慈照寺の室中床)。詩仙堂、慈照寺の場合は庭園部も明るく、かつ月光が広縁を越して室中床にまで達しているため、建築内部から庭園領域までが連続的な明るさを得ている。特に障子に直射する月光の効果は大仙院、竜安寺、正伝寺には見られないものであり、夏期特有の月明かりの景を生み出している。

このような特徴から、冬期と夏期では月光環境の楽しみ方が異なったのではないかと推測される。冬期には月光はいっさい方丈内に入射せず、そのことが白砂のみが浮かび上がる象徴的景観を生み出している(図-5)。一方夏期には、庭園が暗くなる一方、広縁、室中にまで明るい月光が入射するため、庭園を鑑賞するというよりも、そこで直接に月光を浴び、また月そのものを鑑賞する楽しみを得たのではないかと推測される(図-6)。

7. まとめと今後の展開

(1) シミュレーションによる定量解析からの知見

月光下における庭園空間の様相を、視覚像に近いかたちでシミュレートし、さらに定量解析することにより、これまで主観的記述に近かった内容を具体的に把握することができた。

- 白砂数は土の庭に比べ15倍の輝度を獲得し、建築内と庭園の間に大きな輝度差を与え、その結果、禅宗様庭園の簡潔な空間構成が明暗の構成としてより抽象的に知覚されること、
- 白砂数は土の庭に比べ、建築中間領域や方丈室中に約1.9倍の反射光をもたらし、方丈と庭園に空間的連続感を与えること、
- 建築中間領域や建具様式の時代的差異により、方丈室中床面の輝度に1.4倍近くの相違をもたらしていること、
- 庭園の表情の経時変化は、庭園の構成要素、立地などで異なり、白砂輝度変化も、時代が下るほど「台形型」から「山型」に移行し、滑らかな光量変化と持続性を獲得していること、
- 庭園内植栽、庭園南側木立の陰影の動きが、月光下の庭園鑑賞に影響を与えていること、
- 夏至期は冬至期に比べ庭園輝度が1/5~1/2までさがり、かつ広縁や室中への月光直射があるため、冬至期とは異なる月光鑑賞をしたであろうこと、である。

(2) 庭園意匠研究におけるPCシミュレーションの有効性

本研究により、PCシミュレーションが庭園意匠の考察に以下の点で有効であることが認識できた。

- 輝度グラデーション画像処理により、月光という微細な光環境変化が明確に視覚化できること、
- 仮想モデルと現状モデルの比較検証により、庭園意匠と光環境効果との関係が理解しやすいこと、

- iii) 気象条件に影響されない同時刻の月光環境の検証が複数庭園において可能であり、正確な比較分析が行なえること、
- iv) 気象条件に影響されずに経時的な光環境変化の追跡が可能で、現象の側面からの庭園意匠の工夫が明らかとなること、である。

補注および引用文献

- 松前健(1983): 日本民俗文化大系 2 太陽と月—古代人の宇宙観と自然観—: 小学館, 123
- 荒川紘(2001): 日本人の宇宙観—飛鳥から現代まで—: 紀伊國屋書店, 24-29
- 真鍋正規・山崎均・小島昌一(2000): 天空光を考慮した建築CG表現に関する研究—All Sky Modelによる室内光環境計算: 日本建築学会第23回情報システム利用技術シンポジウム2000, 61-66。当該研究は昼天光でのシミュレーションであるが「日本建築によく用いられている庭の反射光による採光が天空光シミュレーションによってもその効果が確かめられた」と結論している。
- 日本建築学会編(2001): 光と色の環境デザイン: オーム社: 62-63
- 前田英紀・平尾和洋(2001): 京都の日本庭園を対象とした平面分析にみる変遷の流れとその背景—平安—安土・桃山—: 日本建築学会近畿支部研究報告集計画系第41号, 5-8
- 重森三玲・重森完途(1974): 日本庭園史大系第5, 6, 7, 15巻: 社会思想社/大熊喜邦監修・北尾春道(1938): 国宝書院図聚第8巻: 洪洋社/田邊泰・服部勝吉(1943): 日本建築特殊建造物篇第5冊詩仙堂・鈴屋: 彰国社/太田博太郎(1971): 日本建築史基礎資料集成16: 中央公論美術出版社/日本建築学会編(1980): 日本建築史圖集: 彰国社/重森完途(1980): 日本の庭園3 枯山水の庭: 講談社/西澤文隆実測図集刊行委員会(1997): 建築と庭: 建築資料研究社/を基礎資料とする。
- 小木曾定彰(1969): 新訂建築学大系22: 彰国社, 212-214/渡辺要(1962): 建築計画原論1: 丸善, 210/日本建築学会編(1978): 建築資料集成環境: 日本建築学会, 80/藤沢武夫・箕田英美・上田假奈代・浜島明・池田定博編(1994): ローム君の京都博物日記サイエンスリポート編: ローム株式会社, 92/による数値の平均値を入力。反射率: 漆喰壁(65%)煉瓦(15%)石材一般(35%)砂利一般(12%)白河砂(80%)樹木一般(25%)檜建材(60%)畳(55%)白粗製紙(40%)襖紙(55%), 拡散性透過率: 白粗製紙(42%)。
- サンプル画像撮影箇所: 5 方丈建築各々の、広縁、柱梁、軒裏、室中天井の木質面、室中内壁面、室中内建具面(障子、棧戸、欄間、襖)。5 庭園各々の、石材、白砂、刈込み、高木。竜安寺の土塀面。慈照寺銀閣の東立面および北立面。
- 天文年鑑編集委員会編(2001): 天文年鑑2002年版: 誠文堂新光社, 82-83/ the moon age calendar<<http://www.moonsystem.to/main.htm>>: 毎日更新: 2002.7.14 参照/をもとに作成。
- 産業技術総合研究所<<http://www.aist.go.jp/dream.lab/keiryu/b/akarusu.04.html>>: 毎日更新: 2004.4.28 参照
- formZ内では月光を $5.8[\text{w}/\text{m}^2]$ 、星明光を $0.58[\text{w}/\text{m}^2]$ で入力し、輝度分析では測定値を改めて 10^{-4} 倍することにより輝度値とする。
- こよみのページ: <<http://koyomi.vis.ne.jp>>: 毎日更新: 2004.5.25 参照
- 前出8), 天文年鑑2002年版, 67
- 測定は正伝寺において2005年12月16日(月齢14.5日), 20:40から21:20に施行。月光鉛直面照度測定値が $0.21[\text{lx}]$ であり、快晴時月光量下での計測とできる。
- あらかじめ考察対象とする部分の輝度をいくつかの条件下で測定し、その変化が分かりやすい配色を決める。例えば庭園の白砂領域は輝度変化が $50\sim 300 \times 10^{-4}[\text{cd}/\text{m}^2]$ と大きいので大まかな色分けとし、一方、軒、縁、床等の輝度変化は $0\sim 30 \times 10^{-4}[\text{cd}/\text{m}^2]$ 近辺での変化であるため、配色が細くなるよう配慮した。
- 前出6) 新訂建築学大系22, 212-214より、湿土面の反射率は5%と設定。
- 大仙院は1509年建立当時の形態をとどめられていると考えられる。竜安寺、正伝寺はともに現方丈は江戸期建立であるが、両者とも移築であり(竜安寺は塔頭西源院の移築、正伝寺は伏見桃山城御成殿遺構を移築)、建築本体は室町から桃山期のものと考えられる。/太田博太郎監修日本建築年表編集委員会編著(2002): 図説日本建築年表: 彰国社, 99, 124/重森三玲・重森完途(1974): 日本庭園史大系第15巻: 社会思想社, 54/西川孟(1989): 日本の庭園美4—龍安寺枯山水の海: 集英社, 57
- 前出1), 日本民俗文化体系2, 117
- 慈照寺は、東山慈照寺(2002): 銀閣寺—東山慈照寺, 16, 正伝寺は、山崎伝宗(1976): 吉祥山正伝寺: 正伝寺, 28-29の図版からデジタル撮影しマッピング。
- 現地での土塀面撮影の画像データをマッピング。