

金丸座（金毘羅大芝居）のCG復元と光環境における一考察

四国職業能力開発大学校 山下 世為志

One consideration in CG restoration and the optical environment of the Kanamaru-za

Seiji YAMASHITA

要約 現存する日本最古の芝居小屋として知られる金丸座が建築された1835年当時どのような状況で歌舞伎が上演されていたかを検証するため、江戸時代の芝居小屋を三次元（3D）データで復元した。舞台装置等の作動原理・開口の仕組みや特徴等を解析するとともに、自然採光や百目蝋燭の人工照明による光環境を季節・時間帯でCGシミュレーションし、特性や現在との相違点などを解析することにより、過去の金丸座では人工照明なしで上演することが可能か否かを検証した。その結果、歌舞伎を上演するのに必要な照度を十分に得ることができていないこと、故に百目蝋燭などの人工照明が必要不可欠であることが推測できた。

I はじめに

香川県には、金毘羅大芝居として香川県内だけでなく全国から大勢の人に親しまれてきた金丸座がある。しかし、近代社会の急激な変化の中に忘れられ、一次は崩壊寸前までに追い込まれた。そんな状態が数年続き皮肉にも昭和45年、金丸座は木造建築による日本最古の劇場として国の重要文化財に指定された。その後、周りの熱意と多くの協力を得て、昭和47年から工期4



図1 現金丸座写真

年をかけ移築復元が行われ、再び図1のように往時の風格を取り戻すこととなった。今でも毎年一度、歌舞伎の開催時期になると琴平町は観光客で大変な賑わいをみせている。

現存する日本最古の芝居小屋として知られる金丸座が建築された1835年当時の構造や特徴などを解析するため、江戸時代の芝居小屋を三次元（3D）データで再現し、舞台の動作・仕組みの動作シミュレーションを制作した。また、自然採光や百目蝋燭による人工照明による光環境を季節・時間帯で光環境シミュレーションし特性や現在との相違点などを解析した。

II 現況（方位・光環境）調査

1. 真北測定

移設による方位の変化を図2のように検証した。

測定日時：平成15年2月18日

測定場所：現金丸座と昔の金丸座跡

測定器具：真北測定器・平板測量器・三脚

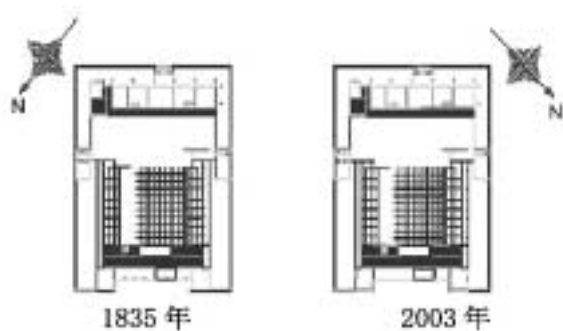


図2 真北測定結果

2. 昼光率測定

光環境シミュレーションを行うにあたり、現金丸座の昼光率の測定を行った。

測定日時：平成15年1月21日14時

天候：曇り

測定器具：デジタル式照度計 (TOPCON IM-5)

開口は全て全開状態とした。測定点は床上1.2m水平面上、図3に示すように1階A～M、2階N～V点とした。昼光率の測定結果表1は、かなり低い数値で人工照明なしでは問題があることを示した。



図3 昼光率測定点

表1 昼光率測定結果

1階	A	B	C	D	E	F	G	H	I
室内照度 (lx)	1.56	1.46	1.75	1.38	9.08	13.32	7.68	1.39	1.91
全天高空照度 (lx)	21700	20800	20600	22100	21900	22700	22200	21700	21700
昼光率 (%)	0.007	0.007	0.008	0.006	0.041	0.058	0.034	0.006	0.008
1階	J	K	L	M					
室内照度 (lx)	1.68	1.21	1.36	0.82					
全天高空照度 (lx)	21800	21900	22100	22100					
昼光率 (%)	0.0077	0.0055	0.0061	0.0037					
2階	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
室内照度 (lx)	2.73	3.62	3.38	2.89	3.31	4.49	5.26	4.85	6.64
全天高空照度 (lx)	19800	19700	19300	19200	19400	19700	19800	19900	20200
昼光率 (%)	0.014	0.018	0.017	0.015	0.017	0.022	0.027	0.024	0.032

3. 障子の光透過率

金丸座では、すべての開口が障子を通して採光されている。そこで障子の内外の照度から障子の光の透過率を求めると、表2のように概ね15%前後であることが分かった。(測定条件は2. 昼光率測定と同じ)

表2 透過率測定結果

	B	C	I	J
障子外照度 (lx)	990	505.1	1119	1982
障子内照度 (lx)	137.1	86.4	171.9	332
照度比 (内/外)	0.13	0.17	0.15	0.17

Ⅲ 三次元モデリング

1. 資料

図面は、昭和47年に移築復元が行なわれた時の修理報告書を主に用いることとした。また、琴平町と金丸座の歴史調査、関連図書の検索、金丸座に関する資料収集、ならびに実寸調査を実施した。

2. 三次元モデリングとブーリアン処理

オブジェクトが豊富な3次元オブジェクトCAD^(注1)では柱や壁など、モデリングの骨格となる躯体を制作。3次元汎用CAD^(注2)では、ブーリアン処理等により細かい建具を制作し、それぞれの部材が完成後3次元オブジェクトCADのデータを3次元汎用CADのデータに変換し、躯体に建具を組み込み図4のように形状復元した。

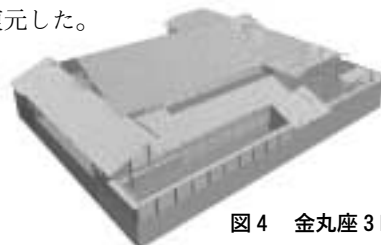


図4 金丸座3D復元モデル

3. C G

制作したオブジェクトをCGソフト^(注3)のデータに変換する。CGソフトではテクスチャーを貼り付け、座標やパラメータを設定した。次に作成したモデルをレンダリング機能により図5のCG画像を制作した。



図5 金丸座CG画像

IV 動作シミュレーション

平素、金丸座では動作機構に関する部分はロープ等で固定されているため、一般人は実際に動かされている様子を見る機会はほとんどない。そこで、その機構と金丸座に関する資料等と照らし合わせ、動作シミュレーションを制作した。

1. 回り舞台

回り舞台は舞台の中央にあり、一見舞台と一体化しているように見える。しかし、実際の構造は切り離されて作られているため単独で回転する。これは金丸座の稼動部分のなかでも、最も大きな仕掛けで最高の技術をもって作られている。動作シミュレーションにおいては、図6のように人力によって舞台が回される様子を動画により再現した。

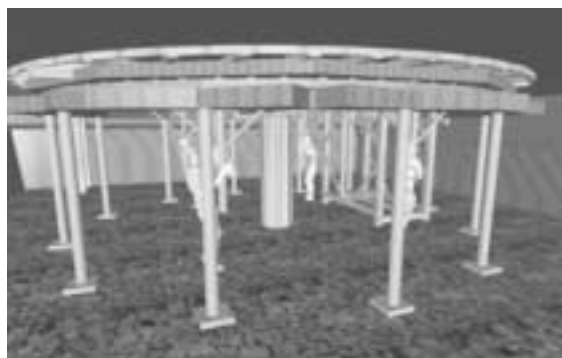


図6 回り舞台動作シミュレーション

2. セリ

セリに関しては、左右二名ずつの人間が役者を押し上げる。しかし今回は、あくまで構造を見えやすくするためセリを押し上げる人間二人、役者一人の合計三人を配置した。動作シミュレーションにおいては、図7のように人力によって役者が迫り上げられる様子を動画により再現した。



図7 セリ動作シミュレーション

V 自然採光シミュレーション

1. レンダリング

今回のCG画像制作にはラジオシティ処理機能が付加されたCGソフトを使用した。

当初は、レイトレース機能^(注4)のみであり直接照明、シャドウ、鏡面反射および透明効果は正確にレンダリングでき、図8のように直接差し込む光とそれによりできる影を表現することはできた、しかし面に当たった光がそこから反射するという拡散反射光を再現することはできなかった。



図8 レイトレースによる金丸座自然採光CG画像

今回CGソフトのバージョンアップにともない、全てのサーフェス間で拡散ライトの相互反射を計算するラジオシティ機能^(注5)が追加されたことにより、図9のように当初表すことのできなかった拡散反射光を表現することができるようになった。それにより、より現実に近い光環境を再現することが可能になった反面、ラジオシティを処理することにより膨大な処理時間を要するようになった。

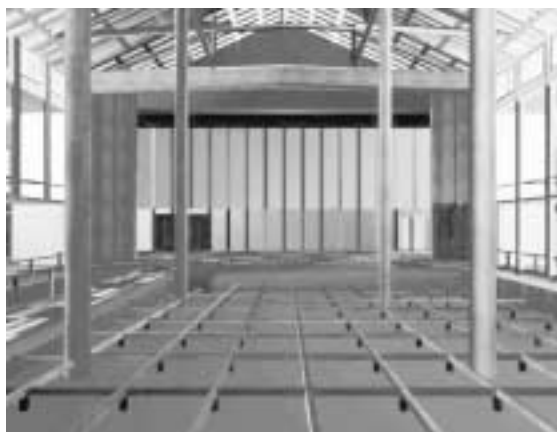


図9 ラジオシティによる金丸座自然採光CG画像

2. 光透過

自然採光のシミュレーションを行うにあたり、Ⅱ現況調査の3. 障子の光透過率を適用して太陽光が直接差し込むのではなく、障子を通して差し込む表現を試みた。しかし現在のCGソフトは残念ながらこのような数値を適用して現実の光環境と整合性を持つシミュレーションができるまでには至っていない。

そこで、図10の東棧敷採光状況と比較検討しながら、現実に近い和紙の透過状況を再現できるよう不透明度と自己照明を調整した。

和紙のマテリアルは、不透明度をいろいろ試した結果、図12のように不透明度：50%が現実が一番近い画像が得られた。また、光が透過している様子も再現するため自己照明も15%、カラー白に設定した。



図10 東棧敷採光状況写真



図11 不透明度40%CG画像

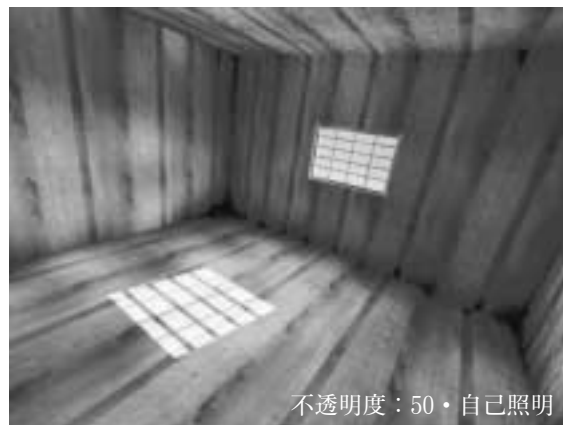


図12 和紙の光透過CG画像

3. シミュレーション

人工照明の無い時代に建てられた金丸座は開口の開け閉めで照度を調整していた。この様な自然の光環境の中で、採光が舞台にどの程度影響を及ぼすのか季節・時間変化を再現してみた。また、移転修復工事により当時ほぼ南東の舞台が南西に変わっており、その比較を行うため、現金丸座の方位を2003年として、旧金丸座の方位を1835年としてシミュレーションした。

2. 光透過を適用したシミュレーションの結果、図13の現金丸座自然採光写真（2002年4月3日11時、開口は障子状態で全開放）と大体同条件である図17の現金丸座（2003年3月21日10時）と比較し、今回の自然採光シミュレーションが現実の光環境とかなり整合性を持つことが確認できた。

季節別時間変化シミュレーションの結果、どの季節においても、図14と図17のように10時の時点では1835年のほうが暗く、時間の経過とともに劇場内に差し込む光が強くなる。しかし、図16と図19のように14時の時点では現金丸座よりも、旧金丸座の方が多く光が差し込んでいる。ただし光が劇場内に入射するのは、客席部分のみであり舞台は常に暗い。



図13 現金丸座自然採光写真 (2002年4月3日11時)

・春分秋分（3月21日・9月23日）時間変化

旧金丸座



図14 1835年10時

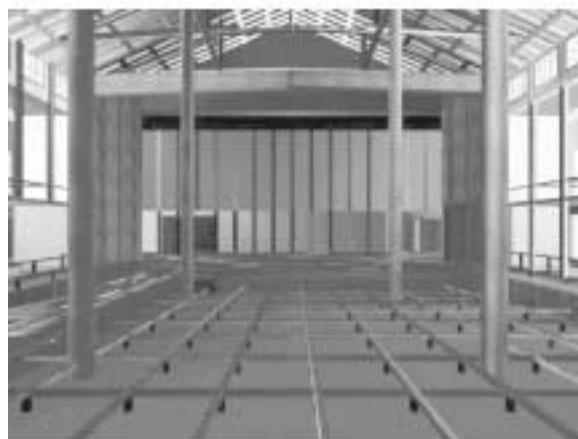


図15 1835年12時

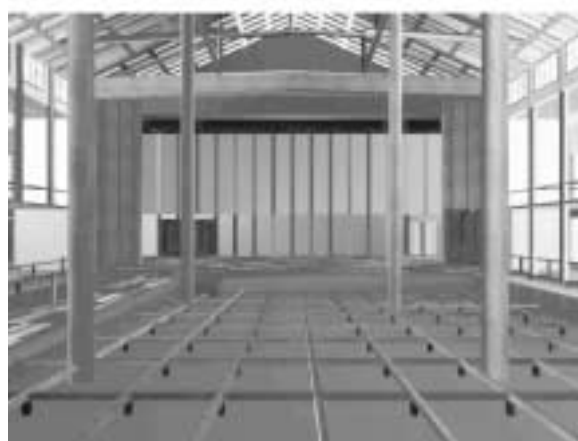


図16 1835年14時

現金丸座



図17 2003年10時



図18 2003年12時



図19 2003年14時

・夏至（6月22日）時間変化

旧金丸座

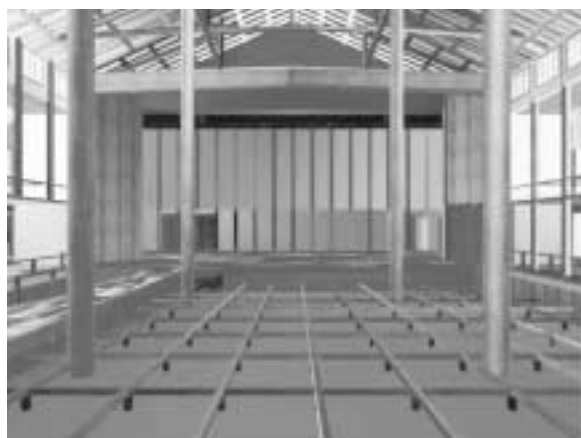


図20 1835年10時

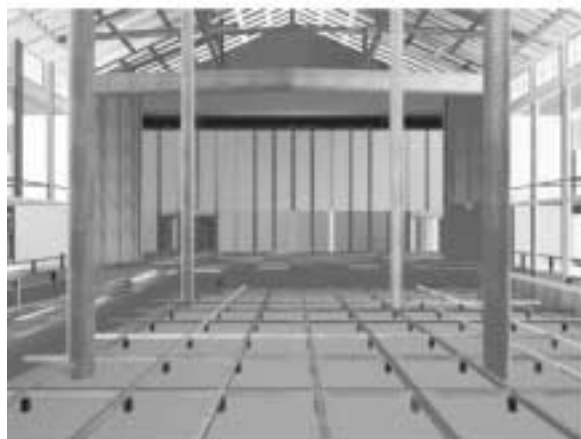


図21 1835年12時



図22 1835年14時

現金丸座

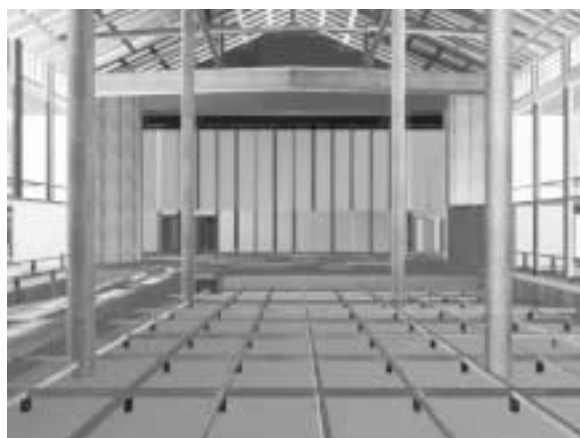


図23 2003年10時

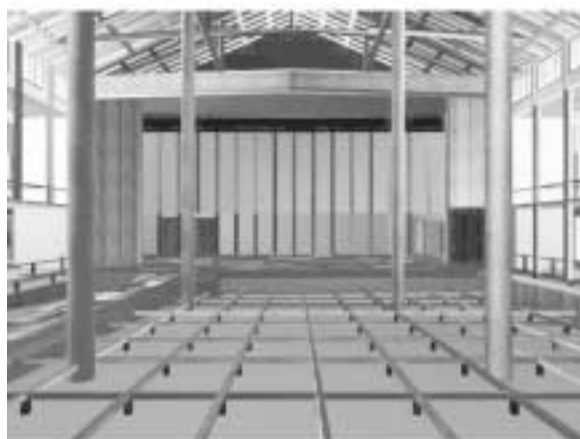


図24 2003年12時

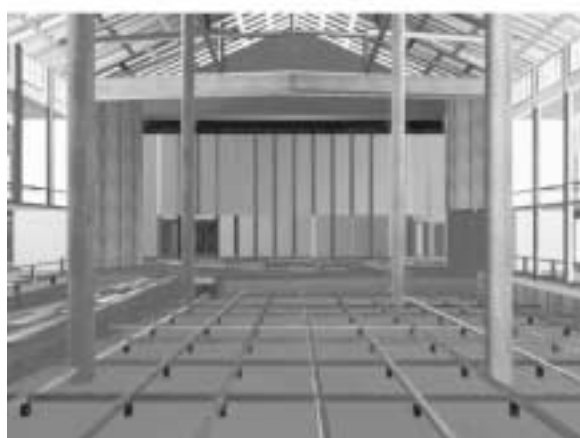


図25 2003年14時

・冬至（12月22日）時間変化

旧金丸座

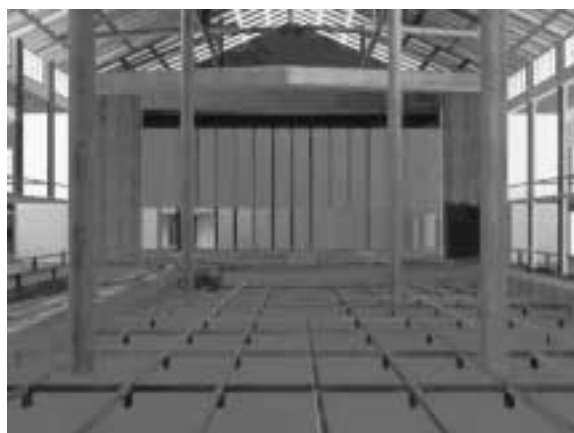


図26 1835年10時

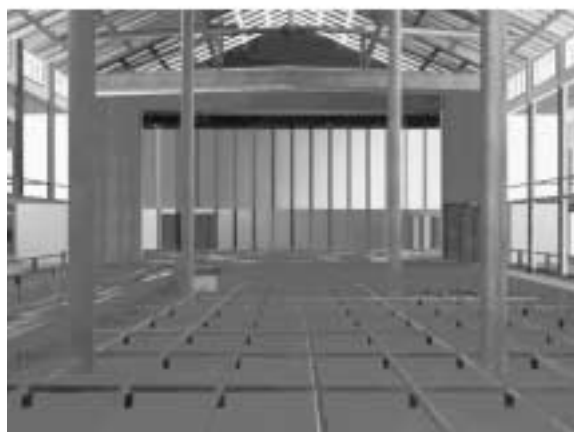


図27 1835年12時

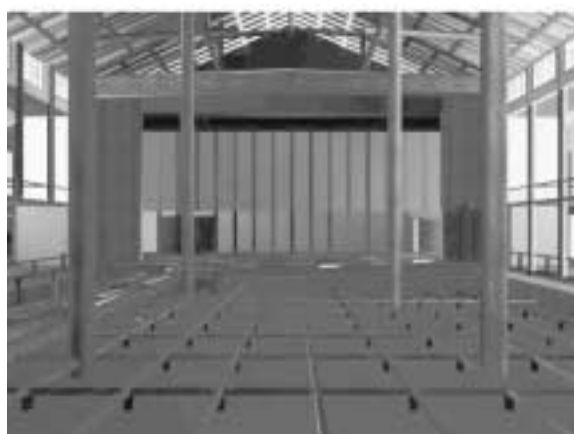


図28 1835年14時

現金丸座

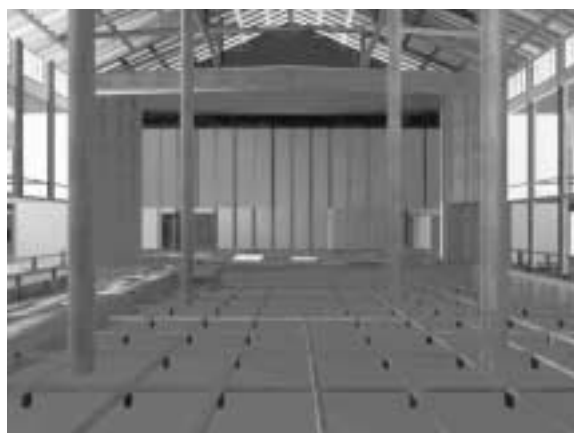


図29 2003年10時

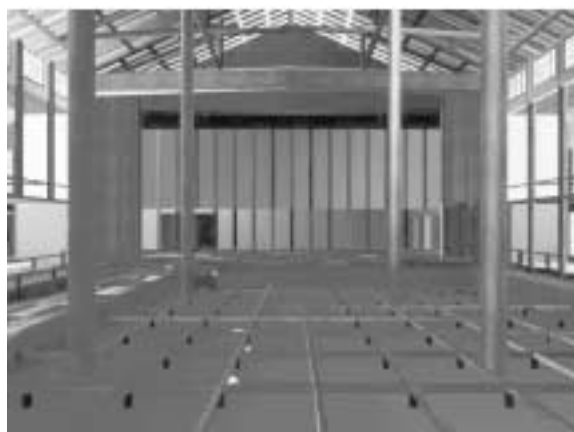


図30 2003年12時



図31 2003年14時

VI 人工照明シミュレーション

1. 蠟燭実験とCG蠟燭制作

当時人工照明であった、蠟燭の光がもたらす照明効果・演出効果についても検討するため昔使われていた百目蠟燭を図32のように照度試験を実際におこない、そのデータをもとに図33のCG蠟燭を制作した。

測定日時：平成14年11月1日20時～21時

場所：視聴覚教室（暗幕閉、非常灯消灯）

測定器具：デジタル式照度計（TOPCON IM-5）

試験方法：百目蠟燭から1mおきに100×100mmの白い衝立を立て、見え方と照度を測定する。

表3 蠟燭照度測定結果

距離(m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
照度(lx)	13.61	3.02	1.27	0.94	0.61	0.46	0.37
距離(m)	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
照度(lx)	0.24	0.19	0.18	0.18	0.14	0.13	0.09
距離(m)	7.5	8	9	10	11	12	13
照度(lx)	0.08	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03

蠟燭実験の結果をもとに、CG空間の中にCG蠟燭と1mおきに100×100mmの白い衝立を置き、炎のところにオムニライトをセットし、輝度55や対数型露出コントロールのもと下記のパラメータ設定で百目蠟燭と同様に周りを照らすCG蠟燭を制作した。

CG蠟燭パラメーター

ライト：オムニライト

強度：0.5 近接減衰

減衰度：逆二乗 開始フレーム：0

開始フレーム：750 終了フレーム：500



図32 蠟燭照度実験

図33 CG蠟燭画像

2. シミュレーション

当時の人工照明であった蠟燭の光がもたらす照明効果・演出効果を検証するため、当時蠟燭が配置されていたとする2階向棧敷に8本、1階東棧敷・西棧敷ともに8本、舞台前に8本、青田組前に2本の計34本のCG蠟燭を配置しシミュレーションした。

平成14年9月29日10時に自然採光と蠟燭の人工照明を灯し歌舞伎上演が行われた常盤座の蠟燭のみの照明状況の図34と旧金丸座の太陽光を消しCG蠟燭のみシミュレーション画像の図35を比較することにより、CG蠟燭の照明効果の整合性が確認された。

自然採光と蠟燭点灯劇場内写真の図36と旧金丸座の自然採光と蠟燭点灯劇場内シミュレーション画像の図37を比較すると、劇場が異なるのでまったく同条件というわけにはいかないが、非常に良く似た光環境の画像を制作できたことから人工照明シミュレーション整合性が確認できた。故に昔の金丸座では図37から図39のシミュレーション画像のような光環境の中で歌舞伎が上演されていたと推測することができた。



図34 常盤座蠟燭点灯劇場内写真



図35 旧金丸座の太陽光なしCG蠟燭のみCG画像



図36 常盤座自然採光と蠟燭点灯劇場内写真

・旧金丸座自然採光と人工照明付加シミュレーション

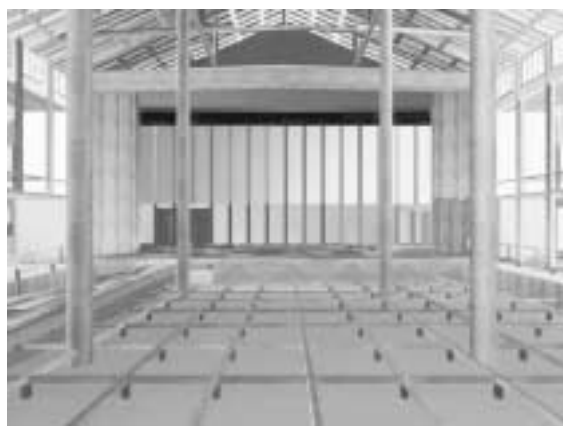


図37 1835年春分・秋分14時人工照明付加CG画像



図38 1835年夏至14時人工照明付加CG画像



図39 1835年冬至14時人工照明付加CG画像

Ⅶ まとめ

1. 動作シミュレーション

動作シミュレーションの結果、金丸座舞台装置の仕組みと動作原理を確認でき、制作した動画によりいつでも誰でも動作状況を確認できるようになった。

また、金丸座にある舞台装置は決して特別なものではなく、昔からの伝統機構そのもので多くの人力を必要とするが、その仕組みが現在でも十分利用できることが素晴らしいと再確認できた。

2. 光環境シミュレーション

自然採光のシミュレーションから、10時の時点ではどの季節も1835年のほうが暗かった。しかし、時間の経過で劇場内に差し込んでくる光が強くなり、14時の時点では現金丸座よりも、1835年当時の方が多く光が差し込んでくる。しかし、光が劇場内に入射するとはいっても客席部分のみであり、舞台は常に暗く歌舞伎を上演するのに必要な照度を十分に得ることはできていないことが推測された。

そこで上演するには、百目蝋燭などの人工照明が不可欠であると考えられ、人工照明シミュレーションを実施した結果、雨天や夜間など自然光が差し込まない状況では、蝋燭の光でも光量不足といわざるを得ない状況が推測された。しかし、現代ほど光が溢れていなかった時代であれば、蝋燭の明かり程度でも歌舞伎の上演は可能であったと考えられる。

謝 辞

本研究においてモデル作成からシミュレーションまで担当した四国職業能力開発大学校、住居環境科、平成13年度卒業の岡本準也・吉田 瞳、同14年度卒業の安部 見諸氏、ならびに資料の提供と各種測定等に便宜を図っていただいた琴平町教育委員会の大西 孝幸氏と同職員の方々、ならびに常盤座の蝋燭人工照明実験の画像を提供いただきました実践女子大学 西角井 正大氏に深く感謝の意を表します。

[注]

- (注1) ArchiCAD…オブジェクト指向3次元モデリングCADシステム（グラフィソフト社）
- (注2) MicroGDS…高機能建築汎用3次元CADシステム（株式会社インフォーマティクス）
- (注3) 3ds max…建築デザインをポリゴンおよびサーフェスツールによるモデリング・照明器具の配光データや、3D照明器具モデルなどによるライティング・ラジオシティ技術によるフォトリアリスティックレンダリング、デザインシーンをワークスルーするアニメーション、シーンの物理現象をシミュレーションビジュアル化するCGシステム（Autodesk, Inc）

(注4) レイトレース…最初に開発されたグローバル照明アルゴリズムの1つ。レイトレースアルゴリズムでは、第一に注意する光子は目に入ってくる光子である。レイトレースでは、直接照明、シャドウ、鏡面反射、および透明なマテリアルを通過する屈折するグローバル照明特性を正確に考慮している。

(注5) ラジオシティ…レイトレースの欠点を解決するために、熱光学研究に注目した、従来とは異なるグローバル照明の計算方法がラジオシティである。厳密に言えば、ラジオシティはシーン中の全てのサーフェス間で拡散ライトの相互反射を計算する。この計算を実行するため、ラジオシティは設定した照明、適用したマテリアル、および作成した環境設定を考慮する。

[参考文献]

- (1) 香川県琴平町編、「重要文化財 旧金比羅大芝居 修理工事報告書」、昭和51年3月
- (2) 西角井 正大著「木造芝居小屋の歌舞伎の科白・衣装等の成立に及ぼした影響の研究」－自然光照明照度編 (研究報告)－平成14年