

# アクトランド龍馬歴史館での3Dプロジェクションマッピング

栗原 徹<sup>1\*</sup> 上田 史織<sup>1</sup> 橋本 悠衣里<sup>1</sup>

河島 尚輝<sup>1</sup> 繁樹 博昭<sup>1</sup> 芝藤 康代<sup>2</sup>

(受領日：2019年5月7日)

<sup>1</sup> 高知工科大学情報学群

〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

<sup>2</sup> 創造広場「アクトランド」

〒781-5233 高知県香南市野市町大谷928-1

\* E-mail: kurihara.toru@kochi-tech.ac.jp

要約：本報告では、2018年8月に約1か月間創造広場「アクトランド」内龍馬歴史館内で上演した3Dプロジェクションマッピングについて報告する。通常のプロジェクションマッピングは、建造物など平面的な対象物に投影することが多い。一方、今回は龍馬歴史館内に設置された土佐藩船「夕顔」の船体曲面に投影することとなった。そのため、多数の画像から形状を推定する写真測量技術により、船体曲面を含むプロジェクションマッピングを行う部屋全体の形状推定を行い、バーチャルな空間を生成し、この中でプロジェクタから投影する映像生成を行った。これにより観客視点からの自然な映像生成が可能になった。著者らは、2018年夏に約1か月間、創造広場「アクトランド」内龍馬歴史館にてプロジェクションマッピングの投影を行い来訪者に喜んでもらうことができた。

## 1. はじめに

プロジェクションマッピングとは、物体や建造物に対して映像を投影し、外観を変化させる技術のことである<sup>1)</sup>。メディアアートとして、東京ディズニーランドや高知城など様々な箇所で一定期間行われており、注目を集めている。

現在、プロジェクションマッピングはメディアアートとしてだけでなく、様々な場面で用いられている。例えば医療の現場においては、患者の身体にプロジェクションマッピングを行い、より正確な手術が短時間でできるよう支援している<sup>2)</sup>。また、家具の販売店でも使用されており、家具に対してプロジェクションマッピングを行い、家具の色や柄を変更することで購入者はそれらを直接確認できるため、イメージの差異が少なく家具を購入することができる。

著者らは、2018年3月に創造広場「アクトランド」内龍馬歴史館内でのプロジェクションマッピ

ングを相談された。龍馬歴史館は、坂本龍馬が疾風の如く駆け抜けた33年の人生を「龍馬劇場」として再現している。27コマの歴史的場面に厳選し、台湾の蠟人形作家・林健成（リンゲンシン）氏によって制作された120体を超える蠟人形の演出で、生誕から終焉までが立体的かつ鮮やかに表現されている。その1コマである、龍馬劇場第24幕「船中八策」のコマ内でプロジェクションマッピングを行いたいと相談された。第24幕「船中八策」では、1867年6月9日、龍馬が後藤象二郎らとともに藩船・夕顔に乗り京都を目指し、その船中にて「新政府綱領八策」を思考したとする物語が展開される（「船中八策」の史的事実については諸説あり）。

依頼内容は

1. 船のシーンを盛り上げるため、リアルな海のシーンを映像として投影したい
2. プロジェクションマッピングによって、船体側面に鳥獣戯画のキャラクターが踊る楽しい映像

を投影したいと記憶している。そこで、知覚認知脳情報研究室が1)のシーンの生成を担当し、さらに錯覚によって人が動いているかのような感覚を生じさせることを目標とした。画像情報工学研究室では2)のシーンを担当し、CG技術によって印象的な映像生成を目指した。

今回プロジェクションマッピングを上映する龍馬歴史館では、年に3回企画展を開催しており、この時期は企画展「アクトランドで発見!江戸文化っておもしろい」を開催する予定であった。この企画展では江戸時代の「戯画文化」について紹介しており、その源流の絵巻として『鳥獣人物戯画』〈複製〉を展示予定であった。そのため、子どもから歴史初心者の方まで楽しく江戸時代の文化や龍馬の歴史に触れてもらえるよう、「船中八策」という場面と鳥獣戯画をはじめとする「戯画」のキャラクターがコラボする、今回のオリジナルシナリオが完成したのである。

ここで「戯画文化」について触れる。「戯画」とは、おかしみのある絵、または戯れに描かれた絵を指すものとされ、『鳥獣人物戯画(鳥獣戯画)』は戯画の源流として有名な作品である。『鳥獣戯画』は「甲・乙・丙・丁」の四巻からなり、擬人化された動物たちが遊ぶ様子を描いた「甲巻」はその中でも特に有名なものである<sup>3)</sup>。発見されたのは京都市右京区梶尾山高山寺で、現在は東京国立博物館、京都国立博物館が保管をしている(執筆時点)。『鳥獣戯画』は最古の絵巻とされているが、いつ・だれが・何のために描いたのかは、いまだ正確にはわかっていない。また、そのストーリーも不明なままであり、謎が多い作品として長年、人々の興味を惹いている。今回は、紙に描かれた戯画らしさを強調するために、戯画キャラを立体化するのではなく、平面図形のまま動き回るような映像を制作することにした。

## 2. 原理と方法

本節では、プロジェクションマッピング映像制作にあたって、重要な技術的原理について説明する。具体的には、海の動きにより観客に自らが動いているかの錯覚を引き起こすベクション効果、部屋のモデリングを行う写真測量、について、それぞれの節で述べる。

### 2.1 視覚的効果:誘導運動、ベクション、運動視差による効果

プロジェクションマッピングにより龍馬歴史館の

ハイライトである船中八策の場面をより臨場感、立体感のあるものにするため、視覚心理学の分野において広く知られている効果をいくつか利用した。本節ではその視覚的効果について紹介する。

風に流されている雲の間に月が見えると月が速い速度で動いて見える場合がある。周辺の運動刺激によって静止した対象が動いて見えるこの現象を誘導運動(induced motion)と呼ぶ。実際の月はヒトには検出できないほどわずかな速度でしか移動していないため、視野の広い範囲に見える雲の動きによってその運動方向と反対方向に月が移動して知覚されるのは誘導運動による錯視現象である。この誘導運動の効果を用いて、物理的には静止している模型の船が海原を進んでいるように知覚させるため、部屋の壁面と床面および船体の側面の領域に空の雲と海の波による同方向に移動する運動情報を投影し、船がその逆の進行方向に進んでいるような効果をもたらすことを目指した。船体の側面と部屋の床面には、波によって生じる輝度差を利用した運動情報を投影した。海面の波は局所的には複雑な運動成分を含むが、全体運動(global motion)としては雲と同方向に運動しているため、部屋の壁面の空と同じ誘導運動がもたらされる。また船体の側面と部屋の床面に同様の映像を投影することにより、床面よりも上の位置に海面があるような見え方をもたらした。床面には艶のないマット(matte)な面を敷き詰め鏡面反射が生じないようにし、船体の側面との不連続な面をできるだけ知覚させないようにした。雲と波を投影した場面の例を図1に示す。

手前の波の運動速度は奥の雲よりも速い速度で運動させ、遠近の距離の違いによる速度勾配を生じさせることで、運動視差(motion parallax)による奥行き手がかりの効果をもたらした。このことにより波面は観察者の近くで推移し、雲は遠くにあるように知覚させ、空間的な広がりを演出した。甲板上には人物や帆柱などが複雑に配置されており、空の映像がそれら対象の表面に映らないようにする必要がある。その一方で、対象との境界線のところまで空の領域を最大限投影することで違和感のない現実感のある映像となる。そのためプロジェクタで船中八策の場面に投影した映像を見ながら背景と対象の境界線の精細なマスクレイヤーを作成し、手前のプロジェクタから投影した2次元の映像であるにもかかわらず、実物の人形等の背後で自然に雲が流れているような効果を生むことができた。

自分が乗っている電車が停車しているときに反対車線の電車が走り出すと、その運動方向とは反対

の方向に電車が走り出したと錯覚することがある。このように、背景となる視野の広い領域が動くことと対象の誘導運動のみならず観察者自身の運動も知覚される。この知覚現象は視覚誘導性自己運動知覚（visually induced self-motion perception）、あるいはベクション（vection）と呼ぶ。本プロジェクションマッピングでも視野上の大きな領域が一方向に運動するため、来場者自身も坂本龍馬らとともに海原を進んでいるような感覚が得られる。また、波には上下の振幅成分も含まれているため、海の上に乗っているような浮遊感のある効果も得られる。このことにより観察者もその場面内に存在するような臨場感の高い感覚（プレゼンス：presence）をもたらすことができる。運動する領域が周辺に存在すること、およびその領域に注意が向けられないことがベクションの効果を高めるという報告があるため<sup>4,5)</sup>、本編の後半において坂本龍馬らが口を動かしているような演出を呈示しているときには、ストーリーに惹き込まれることも合わせて中心の人形に注意が向き、特にベクションの効果が増していたかもしれない。ただし、プロジェクタの投影範囲の制約のため部屋全体に運動する映像を呈示することができなかったこともあり、ベクションの効果は限定的であったと思われる。

明るさ、色、運動を時間的に変化させることによる視覚的効果も利用した。冒頭のシーンでは空と海の輝度を徐々に暗く変調させることで夜の世界へ推移する時間の経過を表現した。鳥獣戯画の映像を挟み、後半には船中八策について龍馬たちが議論する場面となり、ストーリーの盛り上がりに合わせて雲と波の速度を早め船のスピード感を出し、緊張感のある場面を演出した。さらに波の上下の振幅をだんだんと大きくしていくことで躍動感のあるシーンを目指した。空の色は、坂本龍馬が「日本の夜明けぜよ」と叫ぶクライマックスの場面に向けて薄明時の紫色に染まる空から完全に夜が明けた鮮やかな青空への色調の変化を表現し、登場人物のセリフに沿った演出を施した。

以上のように、視覚心理学の知見はプロジェクションマッピングの演出に多く活かすことができる。これらの効果には特に意識もせずに映画やアニメーションなどの映像コンテンツの演出に多く用いられてきた手法もあるが、視覚心理学の研究成果を踏まえ、より意識的に演出することでその効果を最大化することが可能となる。



図1. 雲と波による演出の場面。雲と波が右方向に動くことにより、船が左方向に進んでいるように知覚される。

## 2.2 写真測量

今回プロジェクション対象となったスクリーンは船体側面であり、曲面形状をしている。対象が平面形状であれば、投影するプロジェクタがどの位置にあってもホモグラフィ変換によって矩形となるようにあらかじめ投影動画に変換を施すことができる。ところが、今回は対象となるスクリーンは曲面であり単純な幾何変換を行うことができない。そこで、三次元計測により室内全体の形状を測定し、違和感のない投影を実現することを考えた。

3次元計測をする手法は、Kinectに代表されるTOF（Time-of-Flight）法やレーザーレンジファインダなどの選択肢があるが、今回は特殊な装置を必要とせず通常の単眼カメラのみで利用できるフォトグラメトリーと呼ばれる写真測量技術を用いた。写真測量では、多数のカメラ画像から対応する特徴点を探索し、カメラ姿勢推定と3次元計測を同時に実現する技術であり、いくつか市販のソフトウェアが存在する。今回は、3Dflow社の3DF Zephyrというソフトウェアを利用した。

写真測量は、異なる視点から撮影された多数の画像中の同一の点である対応点を探索し、その見え方の変化から視点位置の推定と3次元環境推定を同時に行う。そのため、対応点が存在することが必要不可欠であり、無地の床面や壁面などでは対応点が存在せずにアルゴリズムが破綻する。そこで、今回はA4用紙にカラフルな画像を印刷し、床面・壁面・船体側面に貼り付け、後付けで模様を作った。図2にその様子を示す。

こうして部屋全体の写真を449枚撮影し、3DF Zephyrを用いて重なりなどにより自動的に選択された440枚の画像から復元した部屋の形状を図3に



図2. A4用紙に画像を印刷し、無地床面などに模様を人工的に貼り付け写真測量を行う様子。

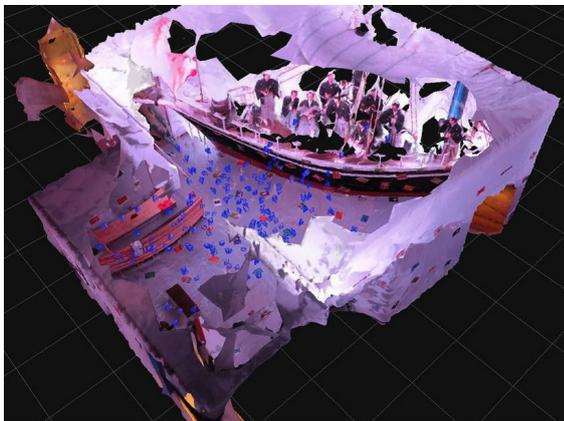


図3. 復元された室内の様子。四角形の部屋形状や曲面を呈している船体側面の形状が良く復元されている。船体前付近の全ての青プロットは推定されたカメラ位置姿勢を示している。

示す。一般に写真測量では、スケールは未知であり、その写真群がミニチュアで撮られたものなのか、巨人の世界で撮られたものなか判別できない。そこで実世界のスケールに合わせるには、既知のサイズのものを用いてスケールを決定する。本プロジェクトでは、3DF Zephyr からエクスポートした obj 形式ファイルを、フリーの3DCGソフトウェア Blender でインポートし、カメラ設置用に据え付けられた台のサイズを基準にスケールを調整した。復元された室内には存在しない凹凸が含まれているため、Blender 上で床面・壁面には平面を割り当て、船体側面には NURBS 曲面<sup>1</sup>を割り当てメッシュを削減した。

<sup>1</sup>NURBS:Non-Uniform Rational B-Spline. 非一様有理 B スプライン曲面のことで自由曲面を数学的に表現するパラメトリック曲面の1つ。



(a) (b) (c)  
図4. 口パク演出:(a) プロジェクタから投影されたパターン(一部)、(b)(c) 演出シーン。口が開き話しているように見える。

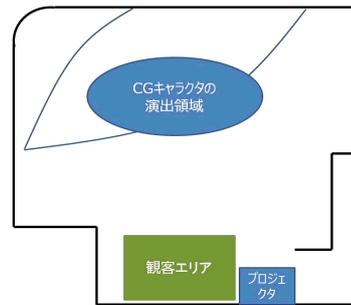


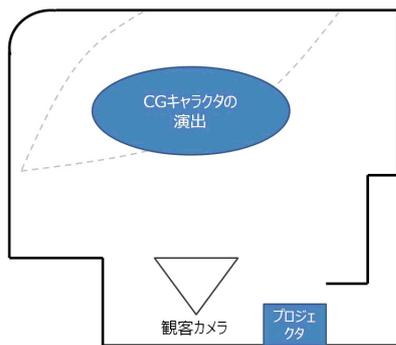
図5. プロジェクションマッピングを行った部屋の見取り図

### 2.3 人形の口パク動作

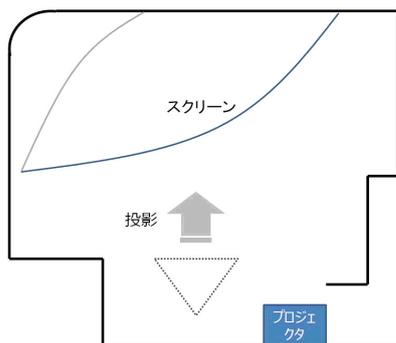
龍馬歴史館の目玉の一つは本物と区別できないほど精巧に作られた蠟人形である。一方で、蠟人形であるがゆえに動かすことができず、シーンの演出で龍馬が話しているにもかかわらず、蠟人形は静止したままであり、いかにも人形という演出となっていた。今回、プロジェクタ位置から写真を撮り、顔写真にしゃべらせるアニメーションをつけ、基準顔画像からの差分を投影することで、あたかも口が動いているかのような映像演出を行った。図4にその様子を示す。

### 2.4 3DCG 生成のワークフロー

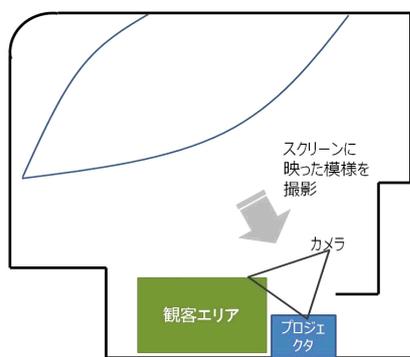
プロジェクションマッピング用とはいえ、基本的なワークフローは、通常のCGアニメーションのワークフローと変わらない。つまり、1)モデリングを行い、2)質感を与え、3)光源を設定し、4)動作を与え、5)撮りたい視点から映像を生成する、という流れで作業を行っていく。唯一異なるのは、5)の映像生成の部分である。CGアニメーションの場合、映像演出のためのカメラワークを行ったり、シーンを切り替えたりするが、プロジェクションマッピングは、空間内でプロジェクタが移動しないため、基本的に映像生成用カメラを動かしたりズームなどを行うことはない。一方で、多くの場合、観客視点とプロジェクタ設置位置は異なっており、この点に配慮したワークフローが必要である。実際、図5に今



(a)



(b)

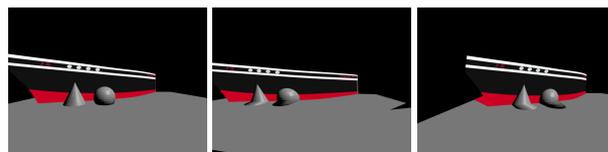


(c)

図6. プロジェクションマッピングのワークフロー。(a) 観客視点にレンダリング用カメラを設置し、アニメーションを制作する、(b) スクリーンのみが存在する空間で観客視点から投影テクスチャマッピングを行う、(c) プロジェクタ位置に配置したカメラでレンダリングする。

回の部屋の上面図を示すが、観客エリアとプロジェクタ設置位置が異なっている。

そこで上記の5)に代えて、次の手順でプロジェクタから投影すべき映像を生成する。



(a) (b) (c)

図7. プロジェクションマッピングの視点依存性。(a) 設定した視点からの観測、(b)(c) 設定していない観測位置から観測されるシーン。(b)(c) ではスクリーンとなる対象の形状の影響を受けて歪んでいる。

1. 演出したいシーンを観客視点に配置したカメラでレンダリングする (図6(a))
2. 1. でレンダリングされたシーンを、スクリーン (本稿では船体側面および床面) のみが存在する空間で投影テクスチャマッピングを行う (図6(b))
3. 2. で投影されたテクスチャをプロジェクタ位置に配置したカメラでレンダリングする (図6(c))

ポイントとしては、

- 1. で生成される映像がテクスチャとしてオブジェクトにマッピングされるため、高解像度な映像を生成しておく必要があること
- 3. のカメラパラメータは投影に使用するプロジェクタと一致していること

である。当然のことながら、観客視点固定されて映像生成されているため、図7に示すように、設定された観客視点以外から観測すると、映像の立体感は損なわれてしまう。このようにプロジェクションマッピングでは、観測する視点が重要となる演出が行われることがある。

これらの流れでマッピング用の映像生成を行った。

### 3. 映像生成

全体の演出は、著者の一人であるアクトランド芝藤が絵コンテを作成し、それに従って期限までに可能なCG演出を議論し、実際に映像制作を行った。絵コンテの1例を図8、9に、作られたCGを図10に示す。

実際の映像は、<https://youtu.be/TXYIZeI79NA>にて確認できる (youtube内で「アクトランド プロジェクションマッピング」で検索)。

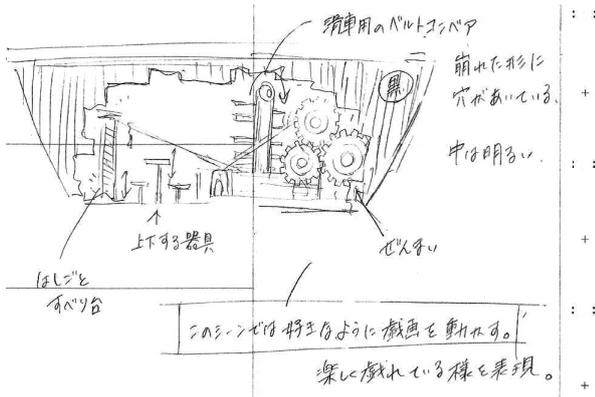


図 8. 絵コンテの例 1

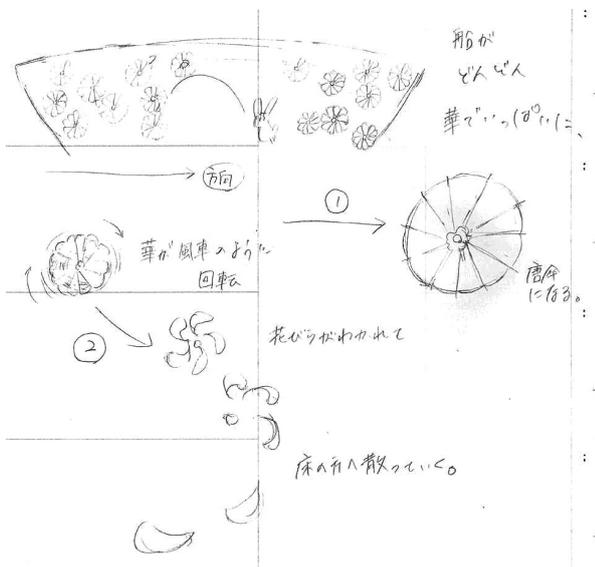


図 9. 絵コンテの例 2

#### 4. おわりに

本報告では、2018年8月に約1か月間創造広場「アクトランド」内龍馬歴史館内で上演したプロジェクションマッピング映像生成の技法についてまとめた。今後も映像制作技術を磨き、地域の活性化に貢献したい。

#### 謝辞

このようなお話をいただき、また実際の会場準備やイベント期間中の管理など、ハード面でもソフト面でも多大なご協力をいただいた創造広場「アクトランド」の皆様およびCG映像制作を手伝ってくれた栗原研究室の皆様に感謝申し上げます。

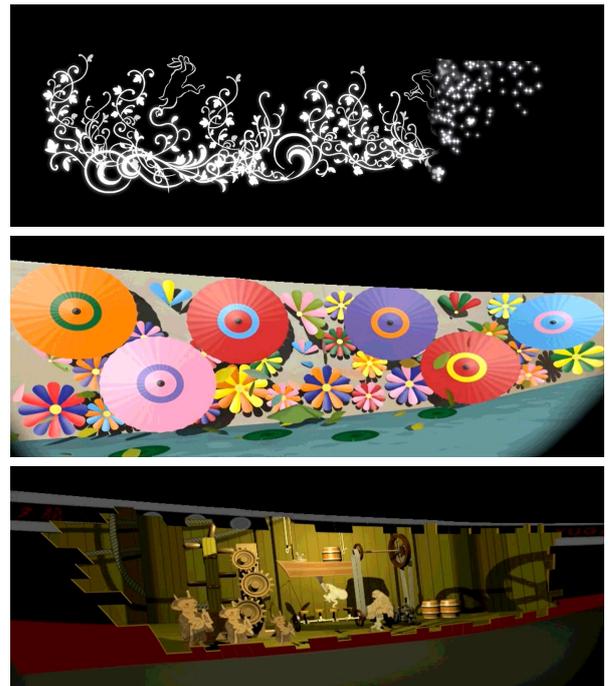


図 10. 投影されたシーンの例

#### 文献

- 1) 田中 健司, “プロジェクションマッピングの教科書”, シーアンドアール研究所, 2017.
- 2) 柳沼 ひかる, 中野 祐樹, 鈴木 孝司, 千葉 慎二, 鷲尾 利克, 矢野 智之, 荒船 龍彦, “プロジェクションマッピングを用いた再建術中乳房形状差情報提示システム”, 生体医工学, Vol. 56, No. 4, pp. 141–148, 2018.
- 3) 上野 憲示, 今村 みゑ子, “鳥獣戯画の謎”, 別冊宝島 2302, 宝島社, 2015.
- 4) Brandt, T., Dichgans, J., and Koenig, E., “Differential Effects of Central versus Peripheral Vision on Egocentric and Exocentric Motion Perception”, Experimental Brain Research, Vol. 16, pp. 476–491, 1973. <https://dx.doi.org/10.1007/BF00234474>
- 5) Kitazaki, M. and Sato, T., “Attentional Modulation of Self-Motion Perception”, Perception, Vol. 32, pp. 475–484, 2003. <https://dx.doi.org/10.1068/p5037>

# 3D Projection Mapping at Ryoma Historical Museum in Actland

**Toru Kurihara<sup>1\*</sup> Shiori Ueta<sup>1</sup> Yuri Hashimoto<sup>1</sup>**

**Naoki Kawashima<sup>1</sup> Hiroaki Shigemasu<sup>1</sup> Yasuyo Shibafuji<sup>2</sup>**

(Received: May 07th, 2019)

<sup>1</sup> School of Information, Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

<sup>2</sup> Creative Park ACTLAND  
928-1 Ooya, Noichi-cho Konan City, Kochi 781–5233, JAPAN

\* E-mail: kurihara.toru@kochi-tech.ac.jp

**Abstract:** In this report, we will describe 3D projection mapping at the Ryoma Historical Museum in Creative Park “Actland”. The 3D projection mapping is often projected onto flat objects, such as buildings. However, this time, it was projected onto the curved surface of the Tosa ship “Yugao” exhibited in the Ryoma Historical Museum hall. Therefore, first, we used photogrammetry technology to estimate the shape of the entire room including the curved surface of the ship. Second, the video source projected, was generated from the audience’s visual point in the modeled space. For about a month in the summer of 2018, visitors were delighted by our 3D projection mapping at the Ryoma Historical Museum in Creative Park “Actland”.