

祇園祭・船鉾の3次元CGモデル作成とその利用

山本 真嗣
立命館大学大学院 理工学研究科

長谷川 恭子
立命館大学 衣笠総合研究機構

仲田 晋
立命館大学 情報理工学部

田中 覚
立命館大学 情報理工学部

本研究は、祇園祭の山鉾の一つである船鉾を対象に3次元モデルの構築を行い、そのモデルの利用と可能性に関して検討を行う。船鉾は、普段は部材に分解されて船鉾収納蔵などに保存されており、毎年の祇園祭の際に組み立てられる。部材の組み合わせ方やその工程は一つの文化であり、それをデジタルアーカイブとして残すことには大きな意味がある。したがって、本3次元モデルは、各部材ごとに内部まで精密にモデリングし、そのモデルを利用して、制作工程や内部構造をデジタル化することを目的としている。また、船鉾のような複雑な形状の文化財は、死角となる部分も多く、祇園祭の際でしか完成形の姿にならないため、各視野から観測できる3次元モデルはとても有益と言える。

3DCG modeling of Funeboko of the Gion festival and its application

Masatsugu Yamamoto
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

Kyoko Hasegawa
Kinugasa General Research Organization
Ritsumeikan University

Susumu Nakata
College of Information Science and Eng.
Ritsumeikan University

Satoshi Tanaka
College of Information Science and Eng.
Ritsumeikan University

The purpose of this research is to digitalize cultural assets called Funeboko which is one of the Yamahoko of the Gion festival and to apply the 3D model. Usually, Funeboko is separated into its components, and it is stored in the Funeboko storage warehouse etc., and is assembled at the time of the annual Gion festival. The way to combine the component and the construction process is regarded as one of the important cultural activities. Therefore, the goal of the modeling is to generate precise 3D model of each components, and to digitalize the assembly process and the internal structure. Moreover, cultural assets with complicated shapes like Funeboko tend to have some invisible portions, and since Funeboko is built only in the period of the festival it is useful to observe the model from any user-specific view.

1. 序論

日本三大祭の一つであり、1200年あまりにわたり受け継がれている祇園祭は、京都の歴史と文化を内包する有形、無形文化財の至宝といえる。祇園祭の継承は、各山鉾町の住民によってなされてきたが、財政的には、多くの部分において行政の支持に頼ってきており、運営面では住民のボランティア活動によって支えられている。その結果、様々な問題を抱えており、貴重な文化財財産の管理には十分な目が届いているとは言い難い。そうした中で新公益法人化に移行する段階で、資産目録のデータベース作成という問題が提起されている。

我々は、特に祇園祭の山鉾行事に着目し、そのプロセス（蔵出し、鉾建て、巡行、解体、格納）を通して、京都の魅力溢れるこの文化遺産を多くの人に伝える目的で船鉾に関する研究を進めている。その研究の一環として、本研究は

船鉾の鉾建ての際の組み立て工程や内部構造の把握できる3次元CGモデルの作成を目的としている。

船鉾の3次元モデルを得るために、まず我々のグループでは2009年7月に代表的な山鉾の一つである船鉾の3次元レーザー計測を実験的に行った。しかし、レーザー計測では比較的正確な3次元形状の点群データを記録できるものの、鉾建ての工程の可視化には向かず、また、計測の際に生じる影や死角、地面と密着してしまっている部分や船鉾内部は計測ができないため形状を取ることができず、資料に基づく3次元CGモデリングソフトウェアによる3次元モデルの構築が必要となった。

さらに、そのモデルを利用して、動画による組み立て工程や内部構造のデジタル化の実現、3次元レーザー計測によって得られた点群データを作成した3次元モデルに落とし込み形作る、

銚建て工程や船銚の内部構造，部材の名称等を広く公開するためのWEB公開の検討を行う。

また，本研究は文部科学省の推進する「複合現実型デジタルミュージアム」構想の委託業務として，立命館大学が構想実現のための研究開発に向けた要素技術及びシステムに関する調査検討を行うプロジェクト「京都アート・エンタテインメントの時空散歩」の一環として行う。このプロジェクトは，最先端の情報技術を用いて無形・有形文化アーカイブのダイナミック・多様な視覚化技術の開発を支援するためのものである。

2. 祇園祭・船銚の歴史と特徴

船銚は『日本書紀』に記される神功皇后（じんぐうこうごう）の新羅出船の説話が由来で，「出陣の船銚」の別名を持つ。船銚が初めて古文書に登場するのは室町時代の中頃であり，八坂神社の祇園社記に「神功皇后の舟」と記されている。この頃は二つの船銚が存在したが，もう一つの「凱旋の船銚」である大船銚は1864年蛤御門の変のおりに消失し，休み山となっている（2011年以降，銚の再建時期は未定ながら復活が進められる予定である）。

船形をした銚の舳先（へさき）には金色の鑄（げき）と呼ばれる想像上の瑞鳥（ずいちょう）を飾り，艫（とも）には黒漆塗螺鈿（らでん）の飛龍文様の舵をつけ，船端には朱漆塗の高欄（こうらん）をめぐらし，船の上の唐破風入母屋造りの屋根に2本の旗竿を立て，そこに紅白の吹流しと長旒（ちょうりゅう）が取り付けられている。現在の船銚は，宝暦年間（1751-64）に計画され天保年間（1830-1844）に完成したもので，重量は約8.4トン，地上から屋根までの高さは約6.7メートル，車輪の直径は約2メートルある。普段は解体され，江戸期文化年間（1804-1818）に建てられた船銚収納蔵と祇園祭の町会所に，船銚の部材や装飾品が格納されている。図1に船銚の全体像がわかる，船銚の巡行の様子を示す。



図1：観測した船銚の全体写真

3. モデリング資料

本研究では，主に京都市文化観光局文化課が1968年に発行した「祇園祭 山銚実測」の図面集[1]（以下，図面集）と，船銚の銚建て工程を撮影した動画データ及び写真の観測データ，そして2011年の祇園祭終了後，築200年以上の船銚収納庫の改修工事に行われた際，すべての装飾品や部材を詳細な資産目録のデータベース化した資料に基づいて3次元CGモデルの生成を行った。図2に参考にした図面集の一部を示す。この図面集からは各銚の姿図，断面図，平面図が描かれており，主要部分の寸法や内部構造がわかる。また，撮影した動画・写真データからは，図面からは読み取れない部材や銚建て手順などをこのデータから推測しモデリングを行い，詳細な資産目録のデータベース化した資料に関しては，部材の位置情報の確認と，作成したモデルを利用したコンテンツ作成の際使用した。これらの資料を使用し，3次元CG作成ソフトウェアを用いて各部材ごとにモデリングをすることによって，制作工程や内部構造を可視化することが可能となり，また，保存されている組み立て前の各部材の形状も把握することができる。

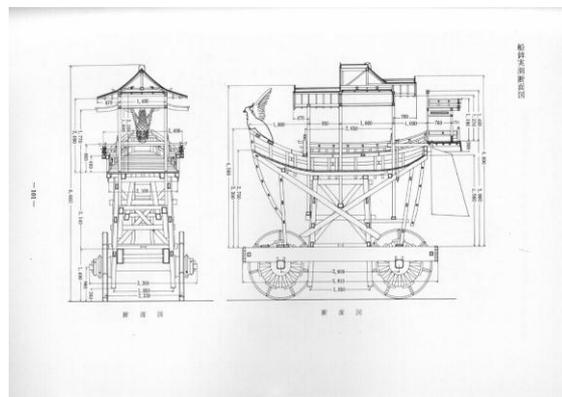


図2：船銚実測断面図
（「祇園祭 山銚実測」[1]）

4. モデリング方針

制作工程，内部構造を視覚的に捉えるには，各部材ごとに制作した正確なデータに基づく精密なモデリングが必要である。本研究では船銚の3次元モデルの作成において3次元CGモデリングソフトウェアAutodesk Maya 2011を使用した。このソフトウェアはモデリングからレンダリング，アニメーションの作成を一貫して行うことのできる高性能なソフトウェアであり，特にモデリング・レンダリング共に多くの方式に対応していること，互換性にも優れ，柔軟性が高く充実したエフェクトがある。銚建て工程のデジタル化には，アニメーション機能も必須

であると考えられることから、本研究では有用性の高いソフトウェアと言える。

また、撮影した観測データ（動画・写真）からテクスチャの作成を行い、ポリゴン単位にテクスチャ画像の任意の位置に貼り付けることのできる UV マッピング法を活用し、モデリング手法は汎用性の高いポリゴンモデリングという方式を使用し作成した。

図 3 に本研究によって作成された船鉾の 3 次元モデルの側面図の結果を示す。また、図 4 に側面の懸想品を外し、内部構造が把握できる側面図の結果を示す。



図 3：船鉾全体像（側面図）



図 4：船鉾全体像
（側面図・一部懸想品除去）

また、Autodesk Maya 2011 でモデリングを開始するにあたり、図面集中の記述されている寸法から、柱の直径(表層部分)を計測し、これを比率の基準 1.00 または明らかに柱の直径が 1.00 より違うものは 0.50, 1.50, 2.00 とした。同資料を参考に作成した部材で、寸法の不明な部分は全てこの基準と明記されている寸法から比較して寸法を決定している。基準 1.00 は実際の長さ置き換えると約 10 センチメートルに相当し、図面の寸法の数値で置き換えると 100 となる。これは、船鉾の高さが約 6.7 メートルと表記されているのに対し、図面表での船鉾の高さが

6,660 と記述されていることから断定できる。また比率の基準を簡単な数値で置き換えることによって、モデリングの柱の位置を指定する際、他の柱とのずれを防ぐことができた。

また、モデリングにおいて、部材の距離を明確にするため基準点を設定した。図面に対し、船鉾が前を向く方向（北の方角）をワールド座標の z 軸とし、船鉾の幅は x 軸、高さは y 軸で調整した。図 5 に基準とした柱と、一部の柱の寸法の決定方法、ワールド座標 xyz の z 軸の 0.00 地点を示す。例えば、左右一対で 2 つあり、鉾全体の重心を下げ、大きな車輪を付けるため重量と長さのある最も大きな部材である石持（いしもち）のモデルを作成する場合、ワールド座標では z 軸に対するスケールが 59.1、船鉾実測平面図や船鉾実測断面図から船鉾の直径を計測し、x 軸に対するスケールを 2.00、y 軸に対するスケールを 4.00 の立方体プリミティブを 2 つ作成し、座標位置は z 軸 0.00 とし、x 軸は船鉾実測平面図より 7.00、-7.00 と設定し、y 軸は周りの柱の長さ位置から求めて作成している。

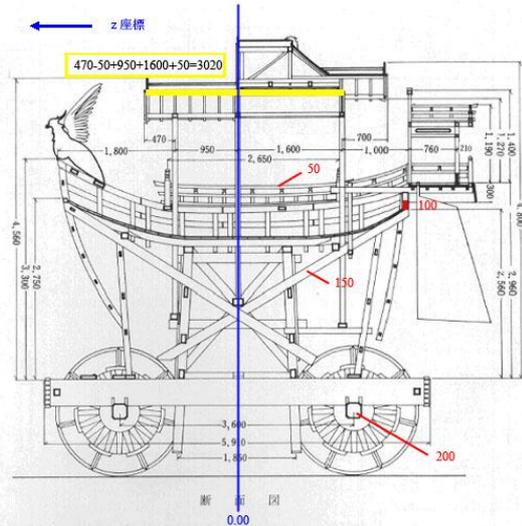


図 5：図面表に基づき寸法基準を記した断面図

5. モデルの各部作成

山鉾にはそれぞれ役割のある部分がある。例えば、船鉾では、船尾の艦(とも)と呼ばれる部分、舳先(へさき)にある金色に輝く鵠(げき)と呼ばれる想像上の瑞鳥の造形物、船端の朱漆塗の高欄と呼ばれる手すりなどが挙げられる。これらもまた、多くの部材から成り立っている。

本研究の 3 次元モデルの作成では、鉾各部（石持、櫓、梯子柱、台、高欄、艦、舵、屋形、鵠、車輪、車軸）に着目し、Autodesk Maya 2011 のハイパーグラフ階層という機能を用いて、それぞれを分割してグループ分けをしている。ハイパーグラフ階層は、シーン内のすべてのオブジェクトが、フローチャートに似たグラフィカ

ルなレイアウトで表示される。これを用いることによって、オブジェクトの相互接続、階層、入力コネクション、出力コネクションを細かく管理することができる。本3次元モデルは船鉾の鉾各部の構造を1番上階層の親ノードとし、鉾各部をそれぞれ部材で分けたものを子ノードとし作成した。

また、レンダラーには、レイ・トレーシング方式を前提とした、フォトンマップ技術により光の物理的な現象を再現することが可能なmental ray方式を使用した。これにより、鎧の金色や漆塗りの光沢の表現がより写實的に再現することができた。

6. モデルの利用

6.1. 動画コンテンツ

船鉾の3次元モデルを様々な視点から観測できるように、Autodesk Maya 2011の機能を用いて、斜め上から360度回転して船鉾の全体像を映し出すアニメーションを作成した。また、図6に示すように、内部構造を把握できるように、船鉾全体のオブジェクトの透過率を下げ、半透明のまま可視化できるアニメーションも作成した。

また、鉾建て工程を示すため、部材一つ一つを順に組み上げていくアニメーションを作成し、山鉾行事の鉾建てを再現した。これを応用して、図7のように鉾建ての組み合わせ手順や、部材の名称や役割を説明する文章を追加し、コンテンツとして利用できる動画を製作中である。

山や鉾の部材や装飾品などは、京都市中を中心とする伝統工芸の職人らによって作られ継承されている。しかし、山鉾は部材の似通ったものが多く、部材と部材の繋ぎ方等も紙媒体だけでは理解するのが困難である。本研究は、鉾建ての際のCGマニュアルとして利用できることを念頭においている。



図6：半透明にした船鉾の3次元モデル

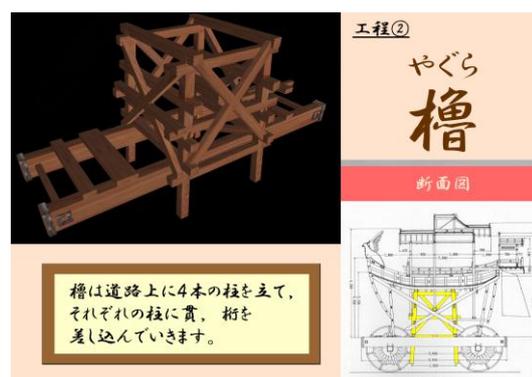


図7：鉾建て工程を可視化するための動画コンテンツのイメージ例

6.2. WEBコンテンツ

我々は船鉾の他に、船鉾町会所や船鉾収納蔵の3次元モデルをデジタルアーカイブとして所持しており、それらと3次元都市モデルの自動生成プログラムを用いて作成された町並みと融合しGoogle Earth上に表示する取組みや[2]、京都の空間及び時間を横断的に移動し、WEB上で観察可能な「バーチャル京都」と呼ばれる取組み等[3]、WEB活用にも積極的に取り組んでいる。

図8にGoogle Earth上に表示した京町家の街並みに、船鉾町会所と船鉾収納蔵と船鉾の3次元モデルを融合した可視化結果を示す。

船鉾のような文化財は、普段収納などに各部材ごとに分かれて収納されており、祇園祭の際でしか完成形の姿にならず、各視野から観測できる3次元モデルをWEB上に表示させ、広域に情報発信することは非常に有益と考えている。

しかし、課題として本研究の船鉾の3次元モデルは内部構造や鉾建ての工程を念頭に置き、すべての部材を精密に再現して作成しているため、船鉾の外装のみを観測するウォークスルーに使用するにはポリゴン数が余分にあり、容量に制限のあるWEBコンテンツとしては不向きな点も多い。

そこで、本3次元モデルを最大限に利用できるWEBコンテンツとして、鉾建ての工程と部材を様々な視点から観測することのできるツール開発にWEB3Dの利用を考えている。WEB3Dとは、インターネットを介してWEBブラウザ上に3次元モデルを表示し、インタラクティブな操作を実現する技術で、特に近年では普及率の高いJavaScriptとネイティブのOpenGL ES 2.0のバインディングであるWEB GLの出現や、ブラウザにWEB3D用のプラグインが組み込まれるなどの動向から、プラグインのインストールも不要となり、新しい魅力あるコンテンツとして見直されている。

このツールが実現できれば、WEBブラウザ上で鉾建てのシミュレーションを行うことができより実用的になると考えられる。



図8：可視化結果（船鉾町新町通）

6.3. 3次元計測点群データの利用

我々は、2009年7月には、実験的な意味も込めて鉾建てを完了した船鉾の全体像、車軸、車輪の3つを、2011年7月祇園祭終了後には、築200年以上の船鉾収納庫の改修工事に伴い数ヶ月間すべての装飾品や部材を一時別の場所に借り置きする必要があり、その際にほぼ全ての部材を（株）四航コンサルタントの協力を得て、デジタルアーカイブの目的で3次元レーザー計測を行った。

3次元レーザー計測は対象物の周囲を取り囲むように数箇所からレーザーの照射を行うことで、実物形状の3次元位置情報を持つ点の集合である3次元計測点群データを取得することができる。

従来の可視化方法では取得した点群に対してポリゴンメッシュを作成し、ポリゴンレンダリングを行うことで可視化を行う。しかし、部材が黒色でレーザーを吸収してしまう、鏡のように金属のものがレーザーが乱反射してしまうなどで点群が十分に取得できなかった場合や、光や影の影響で点群の疎密さがまばらであった場合などには、点群のノイズが大きく、不正確なポリゴンメッシュが生成される。また、半透明に内部形状を可視化する際には生成ポリゴンが複雑な場合、不正確な可視化が頻出する。このような問題を解決する方法として、粒子ベースレンダリングによる3次元計測点群データを可視化するツール[4]を使用した。

本研究では、オブジェクト形式(OBJファイル)で書き出した船鉾の3次元モデルをと2009年7月に3次元レーザー計測した船鉾の全体像の点群データを用いて統合し半透明することによって、内部構造を明確に表示する実験を行なった。

図9に実行結果を示す。この画像から、図面集を元に作られた船鉾の3次元モデルと、レーザー計測によって得られた点群データがほぼ一致していることがわかる。

また、2009年7月の実験結果から3次元レーザー計測では照射した表面の部分しか点群は得られず、内部の部材は点群を取ることができなかった。そのため、2011年7月にはほぼ全ての部材を一つ一つレーザー計測する必要があった。しかし、この手法では部材の正確な形状は取ることができるものの、部材が船鉾のどの箇所にもどのように組み込まれているのかという情報は失われる。

そこで、本研究で作成した船鉾の3次元モデルを利用して、3次元レーザー計測により得られた各部材の点群データを同箇所位置合わせした。

位置合わせには、点群、メッシュ、カラーテクスチャ、カーブ、サーフェスをサポートした統合的なツールRapid Form XOS2を用いた。手順としては、まず始めに型となるポリゴンの3次元モデルを読み込み、その後、部材の3次元点群データ(PTSファイル)を読み込み、不必要な点を除去し、ポリゴンのメッシュをターゲットとして指定し移動させ、微調整を加えて、同箇所各部材を配置していく。

図10に3次元点群データの、位置合わせ後の画像を示す。

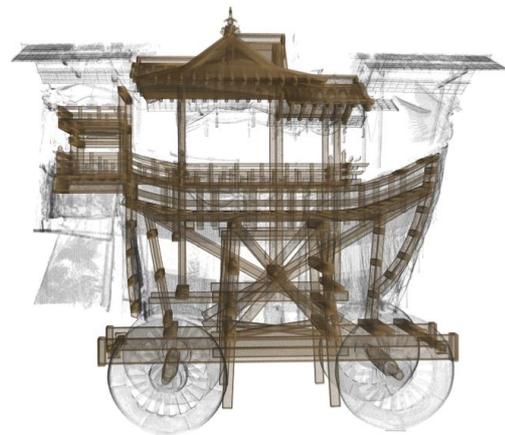


図9：3次元モデルと点群データの結合結果

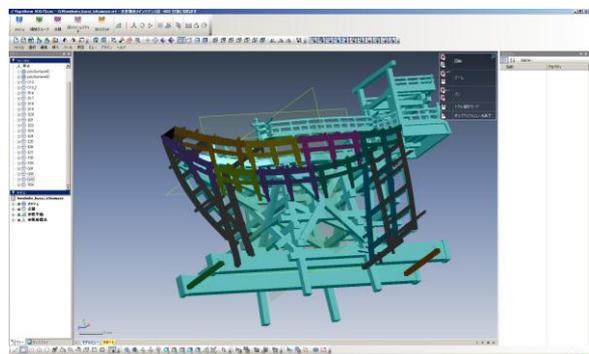


図10：3次元点群データの位置合わせ

各部材データと、2009年7月に計測した船鉾全体像の外装データ、車輪、車軸のデータも位置合わせを行なった後は、船鉾の3次元モデル以外の全ての部材をポリゴンモデルのファイル形式（PLYファイル）にて外部へ出力し、粒子ベースレンダリングによる3次元計測点群データの可視化するツールを用いて半透明可視化することに成功した。また、このツールにはインタラクティブ性もあるため、移動や回転、拡大縮小などといった動作もでき、各視野から内部構造を観測できる。図11に、船鉾の3次元点群データを半透明可視化した実行結果を示す。

現在ある資料では、石持や屋形、台の床部分など3次元レーザー計測がなされていない部材もある。こういった部材については、モデリングソフトウェアを用いたポリゴンモデルで代用しておき、今後レーザー計測が成された際に差し替える予定である。

本研究から、他の山鉾のデジタルアーカイブの際も、3次元モデルを予め作成しておけば、より正確な3次元レーザー計測による形状モデルも組み立てしやすくなることが確認できた。

FIG. 4

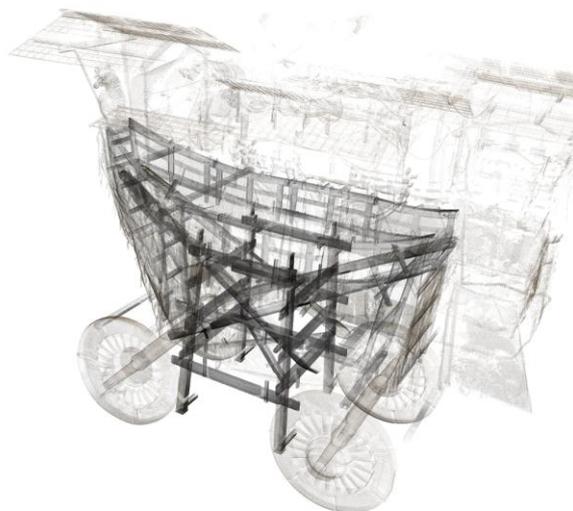


図11：3次元計測点群の半透明可視化結果

7. まとめ

本研究は、京都の祇園祭の山鉾行事でも有名な船鉾の3次元モデルの作成を山鉾の図面集「祇園祭 山鉾実測」、2009年から2011年にかけて祇園祭の際、観測して得られた動画・写真データに基づき、3次元モデリングソフトウェアを使用して行った。山鉾行事の鉾建ての工程も立派な無形文化の一つであるため、それをデジタル化する目的として、そのために内部構造から各部材ごとに緻密にモデリングした。

また、その3次元モデルを利用して、一つは

オブジェクトの透過率を下げ半透明にし、360度旋回して船鉾の全体像と内部構造を映しだすアニメーションと、鉾建て手順の把握できる動画コンテンツを作成した。

また、船鉾は年に一度しか完成した姿を現さないため、いつでも各視野から観測でき、広域に情報発信できるWEB公開の技術として、Google Earthとの統合実験を行なった。さらに、鉾建てにインタラクティブな操作を加える方法としてWEB3Dと呼ばれる技術を検討した。

もう一つは3次元レーザー計測によって得られた3次元点群データを、作成した船鉾のポリゴンの3次元モデルと位置合わせし、内部構造がより精確にわかるよう粒子ベースレンダリングによる3次元計測点群データを可視化するツールを用いて、船鉾を半透明に可視化することができた。

今後は、観測や調査から得られた各部材のそれぞれの形状、名称、管理場所、船鉾のどこの部材か、部材の役割、接続方法などの情報も追加していき、動画・WEBコンテンツとしても幅広く利用できる開発を進めている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、文学的・歴史的知見における様々なご指導、資料収集にご協力して下さいました船鉾町内会長兼財団法人祇園祭船鉾保存会理事・辻健次氏、立命館大学文学部教授・矢野桂司先生、資料収集の際にご協力下さいました日本学術振興会特別研究員・塚本章宏氏、(株)四航コンサルタントに心より感謝致します。

参考文献

- [1] 京都市文化観光局文化課：祇園祭 山鉾実測、京都市文化観光文化課、京都市、1968.
- [2] 平部敬士、澤井雅和、磯田弦、塚本章宏、小阪佳宏、長谷川恭子、仲田晋、田中覚：GISデータによる京都の町並みモデルの自動生成、人文科学とコンピュータシンポジウム論文集「デジタル・ヒューマニティーズの可能性」、pp.29-34, 2009.
- [3] 矢野桂司、中谷友樹、磯田弦：バーチャル京都一過去・現在・未来への旅、ナカニシヤ出版、京都、2007.
- [4] 植村誠、奥正吾、長谷川恭子、宮岡伸一郎、仲田晋、田中覚：粒子ベースレンダリングによる祇園祭・船鉾の半透明可視化、情報処理学会・人文科学とコンピュータシンポジウム「じんもんこん2010」論文集、pp.210-224、東京、December 11-12, 2010.