

コンピュータ・グラフィクスによる
江戸城の復元

木原 利幸 * 杉本 和敏 **

* フジタ工業(株) 設計統括部
** 日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

平成元年度のNHK大河ドラマ「春日局」において、コンピュータ・グラフィクス(CG)を用いて、当時の江戸城を紹介した。CGが未来の創造物や実存しないものを表現するのに有効であるばかりでなく、過去に存在したものを復元するにも大変優れた手法であることを示すことができた。ここでは、江戸城の復元のためのモデリング技術およびレンダリング技術について紹介すると共に、CGによる過去の構築物の復元に関して多少の考察をする。

The Restoration of The Edo Castle
By Computer Graphics

Toshiyuki Kihara * Kazutoshi Sugimoto **

* Fujita Corporation, Architectural & Engineer Division
** IBM Research, Tokyo Research Laboratory

We faithfully restored the Edo castle of about 380 years ago by computer graphics, and introduced it at the "Kasuga-no-tsubone" NHK TV series program in 1989. We showed that computer graphics was an effective and useful method for representing historical objects as well as imagined or fancy objects. This paper describes modeling and rendering technologies for the restoration of the Edo castle, and give some considerations in the restoration of historical objects by CG.

1. はじめに

平成元年度のNHK大河ドラマ「春日局」において、コンピュータ・グラフィクス（CG）を用いて、当時の江戸城を紹介した。CGが未来の創造物や実存しないものを表現するのに有効であるばかりでなく、過去に存在したものを復元するにも大変優れた手法であることを示すことができた。ここでは、江戸城の復元のためのモデリング技術およびレンダリング技術について紹介すると共に、CGによる過去の構造物の復元に関して多少の考察をする。

2. CGシステム

2.1 「COMPASS」

「COMPASS」とはフジタ工業が1984年から開発を進めている建築統合システム「Computer aided Planning And Simulation System」^{[1][2]}の略称で、江戸の地形・町・江戸城の各構成部材のデータを入力するためのモデリングツールとして利用した。名前が示すように設計作業の効率化と景観や概算などのシミュレーションをくり返すことによって設計の質を高められるツールで、敷地や建築要素とその関係をデータベース化することが容易にできる[図1]。

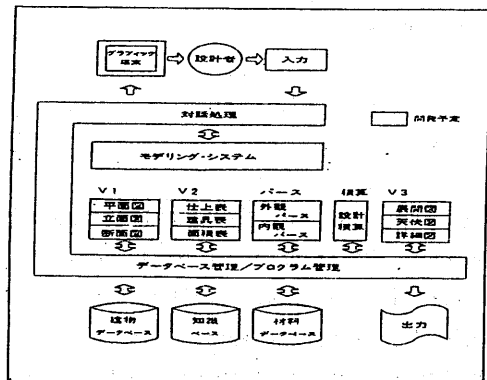


図1. COMPASS

ホストコンピュータ: IBM-4381
 グラフィック編集: IBM-3080
 表示装置: IBM-CAD/CAL
 IBM-GRAPHICS
 開発スタッフ: 尾花マサユキ

CGはその形態や動きの美しさを引き出せるまでに膨大なデータを作成する作業が必要となり知識と経験が要求される。ただし建物や町並みのモデリングの場合、ある程度の規則性を持っているためその特性を生かしたデータ構造を取ることが可能となる。「COMPASS」では、規則性を持ったモデリングは階層化した2次元入力をおこない、複雑なモデリングは3次元画面での形状入力をおこなえるようにしている。またそれぞれの関係はシンボル[図2]という配置形状により関連付けている。

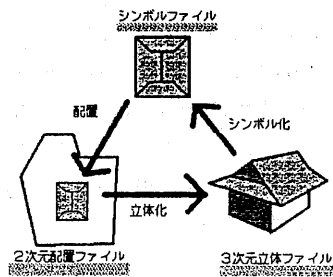


図2. シンボル

2.2 「RSP」

「RSP」は、日本アイ・ビー・エム（株）東京基礎研究所で開発し、製品化したレンダリング・ソフトウェア「Rendering Subroutine Package」^[3]で、より現実の世界に近い高品質な画像を段階的に生成していくことのできる手段を提供している。RSPの主な特徴は、1) 要求される画像の品質や処理時間に応じて、使い分けのできる三種類（リスト・プライオリティ法、スキャン・ライン法、レイ・トレーシング法）のレンダリング手法の提供、2) 複雑な物体表面の模様や材質感を表現するための属性マッピング^[4]の提供（属性マッピングは、テクスチャー・マッピングの一般化されたもので、面にテクスチャーを貼り付けるだけでなく、光学属性、凹凸属性、シェーディング・モデルなど様々な属性を束にしたインデック

スをマッピングする手法)、3) 応用性の広い多角形ポリゴンの採用、4) CGにより生成した画像と写真などの画像とを合成する(モニター)機能の提供、5) 同時表示色の限られた表示装置に対して、できるだけ画像の品質を劣化させずに限定色で表示することを可能にする機能などが挙げられる。

3. 復元作業

3.1 時代考証

CGで復元しようとする時代は江戸の初期で、具体的には家康が江戸城にはいる天正18年(1590年)から江戸城が完成する寛永17年(1640年)までである。この約50年間は関東の田舎町であった江戸が幕府として日本を代表する大都市へと変貌する期間で、家康、秀忠、家光の3代にわたる壮大な都市改造計画がおこなわれた。CGで再現する江戸の町も単に一時期の町の広がり表現するだけではなく、この間の町の移り変わりをも表そうということになった。つまり都市が変わる度に1つのモデルを作っていく訳で、空間を表現するための次元に時間の次元を加えた4次元とも言える大変な作業であった。

資料は寛永期以後はかなり多く残っているが、天正、文禄、慶長期のものはほとんどなく、あっても信憑性に欠けるものばかりである。考証作業は東京工大の平井教授とNHK美術部の内藤氏がおこなわれた。参考資料としては 慶長江戸図(写) 慶長江戸絵図(写) 武州豊島郡江戸庄図(写) 江戸図屏風、などから当時の地形と建物を類推する一方で、明治地形測量図 ランドサット衛星写真 地質調査図などから正確なものに近づけていった。

[地形]: いきなり当時の地形を復元することは難しく、正確な測量図としては最古の明治16、17年測量の参謀本部陸軍部測量局による「五千分一東京図」を元に、明治期の東京の地形をCAD入力した。その地形データを下敷として、慶長江

戸図の地形を川や堀を頼りに上書きしながらCADデータ[図3]を作成した。さらに文献を頼りに各時代を遡って、ようやく天正期の地形が想定できた。

[建物]: 江戸城50年間の変遷だけでも、太田道灌時代の江戸城、西の丸の建設、本丸の建設、天守閣の建設、西の丸の修築、新天守閣の建設、本丸の改築、二の丸の建設、などと続く。建設・改築の時期ははっきりしていても、どういう建物がどういう配置だったかは図面もなく困難を極めた。当時の建物様式や社会規模から平井先生の考察と内藤氏のイラスト[図4]により何とか概要がつかめた。

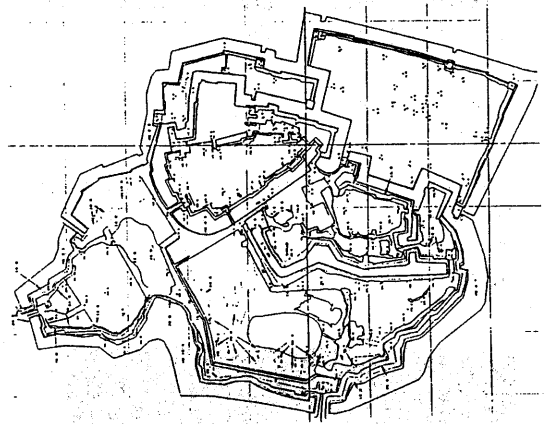


図3. 地形CADデータ

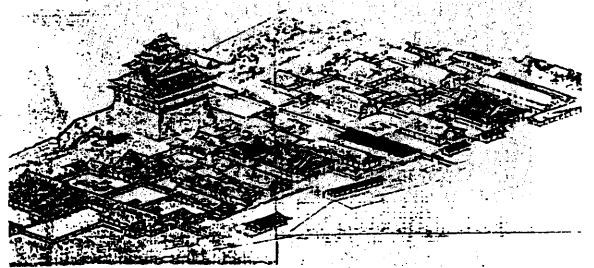


図4. 本丸イラスト

3.2 モデリング

作業はハード・ソフト一式をNHKの作業室に持ち込んでモデリングを行った。システム構成を図5に示す。これはCG画像収録をNHKの1インチVTRで行うためであった。

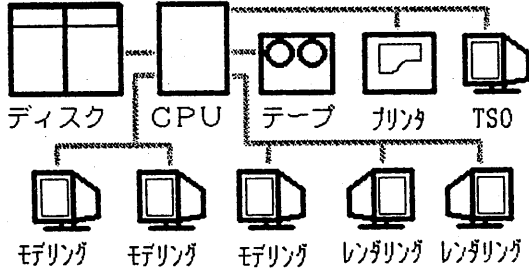


図5. モデリングシステム構成

・敷地入力：CADの線分データをCOMPASSの敷地形状データに変換して高低差を与え、町並み部品・森部品・山部品などを配置して登録【図6】



図6. 敷地モデリング画面

・町並み入力：建物部品を呼び込んで塀・樹木を配置して「町並み部品」として登録

・建物入力：柱・梁・壁・建具などを3次元入力し、屋根部品などと組み合わせて「建物部品」として登録【図7】

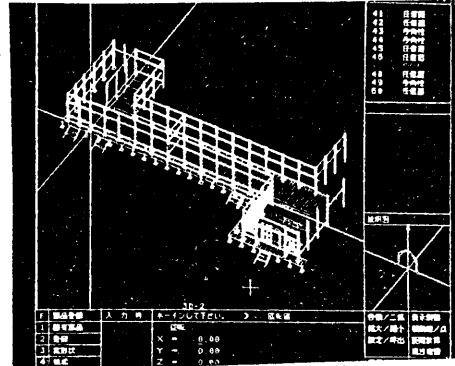


図7. 建物モデリング画面

・屋根入力：形状タイプ・大きさ・高さなどのパラメータを入力して「屋根部品」として登録

・石垣入力：形状タイプ・大きさ・高さなどのパラメータを入力して「石垣部品」として登録

・塀入力：断面形状・始点・終点などを画面入力して「塀部品」として登録

・山入力：山の範囲・等高線を画面入力して「山部品」として登録

・森入力：樹木パターン・密度などのパラメータを入力して「森部品」として登録

以上のモデリングデータを最終的に1江戸時代のデータにまとめると構成面のポリゴン単位で約10万面から15万面となった。現在、われわれの計算機上で扱えるデータ量としてはこれが最大である。しかし、これだけのデータ量でも江戸の町を表すには十分でなく、近景用と遠景用に別個に作成したCG画像をビデオ技術で合成し20万面以上の表現も可能とした。

3.3 レンダリング

レンダリングは、レイ・トレーシング法などの高品質な画像が得られる手法を用いることが望ましかったが、製作時間の関係や扱っている幾何データが非常に膨大であったことから以下に示す2種類の手法を利用した。

1) Zバッファ法 (ハードウェアのシェーディング機能)

10万以上もの面から構成される江戸の町を上空から表現する時などに利用した〔図8〕。本手法は、一つ一つの面を濃淡で表現するので生成した画像が単調になる反面、非常に高速に画像を得ることができるので短時間でビデオに収録するには最適である。

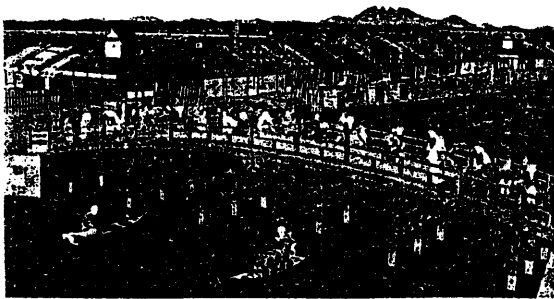


図8. 江戸の町

2) スキャンライン法+属性マッピング

RSPで提供している三種類の手法からスキャン・ライン法を選択した。その理由として、江戸城の内部に光の反射や屈折を考慮しなければならない物体があまり存在しないことから、処理時間のかかるレイ・トレーシング法をあえて利用する必要がないと判断した。ただし、江戸城内の「大広間」や「松の廊下」の豪華な障壁画や欄間の模

様をできるだけ忠実に表現する必要があったため、属性マッピングを有効に利用することにした。

図9に示す「大広間」は、百種類以上の絵をビデオ・カメラで計算機内に取り込み、数千の面上にそれらの絵をマッピングして生成した。特に、欄間の表現に属性マッピングを効果的に利用した。欄間の格子を通して隣の部屋の天井が見えているが、この欄間の画像は、一枚の面データと一枚の絵からのみ生成されている。格子の間から光が透過する領域に、光の透過率を1.0、その他の領域に、0.0を与えている。もし、欄間の格子を幾何データとしてモデリングしたならば膨大な時間と労力がかかり、かつそれによる幾何データの増加は、レンダリング時間にも大きく影響したであろう。



図9. 大広間

3.4 アニメーション

レンダリング画像をビデオに録画するために用いたシステムの構成を図10に示す。

レンダリング画像の大きさは1280×1024であるがNTSC規格のVTRにダウンコンバートする時点で有効走査線本数490の画像となり、画質もRGB信号から輝度信号+色差信号となるためかなり劣化したが、動きのあるアニメーション映像は静止画では表せない興行き・広がり・演出効果が表現できた。

4. おわりに

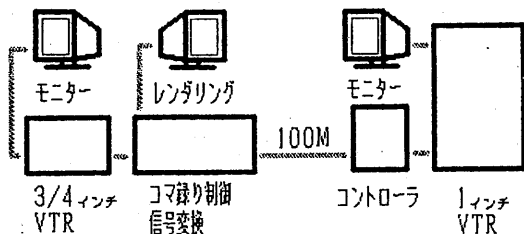


図10. ビデオ収録システム構成

NTSC規格では1秒間に30フレームの画像が必要なので、例えば1分のCGアニメを作るとすると1800枚の画像を生成しなければならない。制作時間の関係から15フレーム/秒のアニメも作ったがやはり見劣りした。

CGアニメでは視点位置・スピード・ライティングなどの演出方法により印象がかなり変わってくるので、満足できるアニメを得るまでには何度もテスト版でチェックする必要があった。まずおおまかな動きを決め、ポイントとなるフレームでの見え方・色・ライティングを調整し、次に動きのチェックを計算速度の速いワイヤフレームモデルで15フレーム/秒のアニメを作って確認した。なめらかな動き・スピード・加速度などのデータをフレームシート[図11]に書き込んでチェックした。

フレームシート

★ タイトル	_____	★ 原画数/総フレーム数	_____
★ プロジェクト名	_____	★ 原画率	_____
★ 原画フレーム数	_____	★ 最高フレーム/30	_____

フレームNO	X座標	Y座標	Z座標	回転X	回転Y	回転Z	速度	加速度	時間	作業時間	
1	-10.0	-10.0	70.0	-110.0	302.0	50.0	82.5	1.7	89	110.0	2.3
2	0.0	-100.0	70.0	-110.0	293.0	50.0	100.7	1.2	157	110.0	5.2
3	100.0	0.0	70.0	-90.0	500.0	10.0	99.8	1.2	53	110.0	1.7
4	170.0	80.0	70.0	-90.0	500.0	10.0	100.4	1.2	112	110.0	12.7
5	55.0	510.0	11.0	-90.0	500.0	10.0	10.1	0.0	20	10.4	1.0
6	45.0	555.0	10.0	-90.0	500.0	10.0	102.5	0.0	171	10.4	5.7
7	-50.0	522.0	10.0	-90.0	500.0	10.0	93.0	0.0	100	10.0	30.0
8											
9											

○ 原フレーム数 = 22920	○ NEW CLIP 位置 = 70.0
○ 原フレーム数 = 110730	○ 原フレーム = 45.0
○ 外部フレーム数 = 2031	○ 原フレーム = 半付(30.0, 35)
○ レコーダ番号 = 516.31	○ 原フレーム = EDORGB

図11. フレームシート

今回のCGによる江戸城復元作業はNHKからの動機づけによって初めて成し遂げられたプロジェクトであった。学術的にこれだけのプロジェクトを今後も続けていくにはまだまだハードウェアおよびソフトウェアの費用・操作性・保守を考えると問題点も多い。CGの有効性を多くの方に認識して頂いて、ぜひとも人文科学分野でのCG利用を官民一体となって進めていきたいものである。最後に、本プロジェクトで時代考証を担当された東京工業大学の平井聖教授とNHK美術部の内藤政市氏ならびにモデリングおよびレンダリング作業で多大な努力をしていただいた関係各位に深謝いたします。

参考文献

- [1] 松林隆道, 他: 「建築CAEシステム COMPASS」, 日本建築学会, 第10回情報システム利用技術シンポジウム, 1988
- [2] 木原利幸, 他: 「設計ツール COMPASS」, 日本建築学会, 第12回情報システム利用技術シンポジウム, 1989
- [3] 「RSPレンダリング・サブルーチン・パッケージ ユーザ・ガイド 解説編」, 日本アイ・ビー・エム(株), N: SB18-0379, 1989
- [4] 青野雅樹: 「属性マッピングの方法論とその適用例」, グラフィックスとCAD研究会, 31-8, 1988