

デジタル化された石器モデルの Web 利用と立体視システム

今野 晃市* 千葉 史* 徳山 喜政** 鳥谷 浩志***
*岩手大工学部 **東京工芸大工学部 ***ラティス・テクノロジー(株)

概要

コンピュータやインターネットの発展は目覚しく、様々な情報がデジタル化され活用されている。考古学分野においては、出土した遺物に対して3次元デジタル技術を適用した研究が行われている。しかし、石器に対するデジタル化研究は少なく、石器データをデジタル資料として活用するための方法論が求められている。本稿では、3次元測定機器により石器の表裏を測定し、石器の3次元ソリッドモデルを生成する手法について述べる。また我々は、生成した3次元モデルをWebブラウザ上で立体視するためのプラグインを開発した。本手法によって、3次元モデルをインターネット上で流通させ、クライアントPCで立体視することが可能となる。また本稿では、遠隔地で石器を立体視ディスプレイで閲覧することによる、デジタルデータの活用法を示す。

A Practical Use of Digitized Stone Implement Model on Internet with Stereoscopic Display System

Kouichi Konno * Fumito Chiba* Yoshimasa Tokuyama** Hiroshi Toriya***
*Faculty of Engineering, Iwate University
**Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University
***Lattice Technology Inc.

Abstract

A computer and internet grow rapidly, and various information is digitized and used practically. In the field of archeology, the study that apply three dimensional digital technologies for an excavated relic have been done. However, there are a few digitization studies about stone implements, and the methodology for utilizing stone implements data in digital documents is required. In this paper, we describe how a three dimensional solid model is created from measurement data, that measured front and back of a stone implement. Additionally, we developed a plug-in software to watch three dimensional models by a stereoscopic display on a Web browser. In this method, it is possible to do stereoscopic display with a client PC while distributing three dimensional models in internet. This paper shows an effective method for using the digitized model data.

1. はじめに

コンピュータやインターネットの発展は目覚しく、様々な情報がデジタル化され活用されている。特に製造系業種では、3次元CAD/CAM技術により3次元のデジタルモデルを積極的に活用し、設計、生産など業務の効率化を図っている。また、デジタルエンジニアリング技術を3次元モデルに適用し、販売や調達、広報などの非設計部門での活用も実用化されてきている⁶⁾。例えば、3次元モデルと製品の組み立て情報を統合化したマニュアルや取扱説明書など、3次元モデルを利用することで、より理解しやすい情報を作成し配信する試みがなされている¹³⁾。このようなデジタル技術は、インターネットを利用することが前提であり、気軽に情報を取得することができるような基盤が確立されてきている。

考古学分野においては、出土した遺物に対して3次元デジタル技術を適用する研究が幾つか提案されている。例えば、遺物や遺構のデジタルアーカイブやデジタル

ルデータの可視化などである^{8),14),15)}。これらの研究の基盤技術としては、遺物を3次元デジタル化する技術があげられる。一般に3次元データは、3次元測定機器を利用して取得される。測定機器は、測定対象に応じて様々なものが市販または試作されているが、大きく分けて接触型と非接触型に分類することができる。接触型の3次元測定機器は対象物の表面に接触してその位置情報を取得するもので、比較的小型の対象物の測定に用いられる。一方、非接触型では、レーザー等を利用して対象物までの距離を測定するもので、比較的大型の対象物を測定することが可能である。ここで、遺物表面が脆いものや材質によって、ある測定機器では測定が不可能な場合があるので、測定対象や応用に応じて、測定機器を使い分けることが必要である。

安達らは、博物館資料をデジタル化し活用するための事例について研究している¹⁾。なかでも、石器や土器などの立体物資料を3次元情報としてデジタル化し、実物とともに展示を検討した。一般に、展示物はショーケー

スの中に入れられているため、展示物を自由な角度から閲覧することは不可能であるが、3次元モデルを利用することで、好きな角度から立体物資料を閲覧することが可能になる。しかし、3次元モデルの品質の問題や、閲覧のためのソフトウェアの操作性などの問題があることを指摘している。

また、重要な遺物を遺物研究者が手にする機会や時間を十分にとることは難しい⁵⁾と言われている。これは、遺物が貴重であればあるほど、資料保存のために閲覧が制限されることが理由の一つである。

以上のように、遺物に対するデジタルデータの活用方法が幾つか試みられているが、石器に対するデジタル化研究は少なく、デジタル資料を活用するための方法論が求められる³⁾。デジタル技術を用いて3次元モデル化することによる最大の利点は、データの再利用性にある。すなわち、3次元モデルを複製、あるいは加工することによって、様々な用途で利用することが可能となる。

我々は、3次元モデルに基づいた、デジタルデータの体系的な活用方法を提案する。我々の方法では、まず石器を3次元測定機器で測定し、形状モデリング手法を用いて3次元ソリッドモデル¹²⁾を生成する。以下では、3次元ソリッドモデルを3次元モデルと呼ぶ。3次元モデルを中核にし、デジタルエンジニアリング技術を適用することで、様々な応用が考えられる。本稿では、生成した3次元モデルにWeb3D技術⁶⁾と立体視技術を適用し、インターネット上に3次元モデルを公開し、クライアントPCにて立体視するためのWebブラウザプラグインを開発したので報告する。

2. 関連研究

3次元デジタル技術を石器に適用した研究としては、石器の実測図作成を支援する研究があげられる。吉澤らの手法は、黒曜石などの鏡面反射成分が大きく、レーザーを利用して3次元測定機器では測定しにくい石器に対して、有効な手法である¹⁶⁾。彼らの手法は、対象物にさまざまな照明パターンを投影し、画像を撮影する。その後、収集された画像から表面の法線方向を計算し輪郭や内部特徴を解析する。そして実測図の自動トレースを目指すという研究である。吉澤らの手法では、石器の特徴のうち輪郭については背光投影画像から輪郭画素を検出し、ベジェ曲線¹²⁾で近似しSVG (Scalable Vector Graphics) 形式²⁾で出力する方法を実現している。しかし、内部特徴の稜線形状については、法線分布図は存在するがその利用法はまだ発表されていない。

浅沼らは、石器の3次元モデルを幾何学的に解析し、幾何学的特徴に基づいて、稜線を追跡しながら抽出する手法を提案した⁴⁾。彼らの手法では、まず石器を3次元測定機器で測定し、測定点群の各点における接平面を算出し、各点の近傍で尾根となる稜線を追跡法により探索した。探索結果を利用することによって、実測図の輪郭線

と稜線を取得することができる。

これらの研究では、石器から3次元情報を抽出して実測図の作成を支援する技術を提案しているが、3次元情報の利用方法が限定されている。すなわち、3次元情報を様々な分野へ応用することを前提としていないため、3次元モデルは表面の情報、すなわち石器の表面の点群にとどまっている。

3. 石器形状のデジタル化

3.1 デジタル化による活用法の概要

我々は、石器の3次元モデルを生成し、様々な応用へ展開することを試みる。まず石器を3次元測定機器で測定し、表面の3次元座標を取得する。我々は接触型の3次元測定機器を利用して石器表面を測定しているため、表裏別々の座標データが得られる。その後、これらの測定データから石器の3次元モデル(ソリッドモデル)を生成する。生成手法の詳細は、3.2節で述べる。

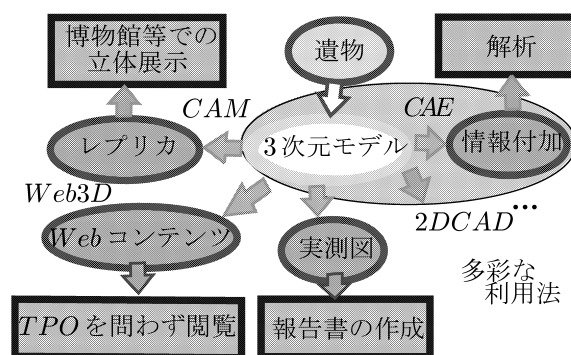


図1 石器形状のデジタル化と応用分野

石器の3次元モデルを生成することによって、このようなモデルを利用した様々な応用が考えられる。図1は、我々の提案手法の概念図である。例えば、3次元モデルに様々な属性情報を付加したモデルを生成することが可能である。属性情報としては、材質や色、注釈などが考えられる³⁾。汚損や破損などの問題により、実際の石器に対して実施することが困難なシミュレーションや彩色などが可能であり、その結果を可視化したモデルをWeb上で配信し、利用することによって、専門知識を持たない人への石器に対する理解を支援することが可能となる。

また、3次元モデルをRP (Rapid Prototyping)装置などの3次元プリンタへ適用することで、レプリカを生成することも容易である。レプリカの生成は、博物館等での立体展示や石器研究者向けの情報として有効であると考えられる。図2の(a)は、ある石器のレプリカをRP装置で生成した例である。(b)は、元になった石器である。RP装置によるレプリカ生成は、材料や色、重さなどの再現は別途考慮する必要があるため、実物と同等のレプ

リカを短時間に生成するためには、今後の研究が必要である。



(a) (b)
図2 石器のレプリカ

本研究で生成する3次元モデルにWeb3D技術を適用すると、Webコンテンツとして配信することが可能である。本研究では、Web3D技術を利用した3次元ビューア¹³⁾を利用してWebブラウザ上で3次元モデルを含んだコンテンツを閲覧することが可能である³⁾。3次元モデルをWebを通じて閲覧できれば、遺物研究者が遺物を研究する機会を増やすことが可能であり、しかも遺物閲覧に関する制限も存在しない。また、3次元モデルは石器を好みの角度から閲覧することができるので、博物館などでの展示と比較して、自由度が大きい。しかし、一般にインターネットを通じて遺物を閲覧する場合には、2次元ディスプレイを利用するため、実物を閲覧する場合と比較して、立体感が乏しい。

本研究では、立体視技術を利用し、従来より立体感のあるWebコンテンツ閲覧手法を提案する。我々は、3次元モデルをWebコンテンツとして閲覧するための3次元ビューアを拡張し、Webブラウザ上で立体視するためのプラグインソフトウェアを開発した。我々のプラグインソフトウェアを利用することによって、3次元モデルを立体的に閲覧することが可能となり、立体視ディスプレイ装置を持つクライアントPCでは、立体視できるようになる。我々が開発した立体視システムについては、4章で述べる。

3.2 3次元モデル生成方法

本節では、石器の3次元モデルを生成する手法について説明する。図3は、その流れを示している。まず、図3(a)に示すような3次元測定機器を利用して、石器の表面を測定し3次元座標点群を得る(図3(b))。本研究では、3次元測定機器として、接触型の測定機器を利用した。利用した測定機器から得られる3次元座標点群は、ほぼ格子状に整列しているため、その点群を容易にメッシュ化することができる(図3(c))。このとき、形状特徴が失

われないように文献3)の手法によりメッシュを生成する。最後にメッシュ化された表面に面を表す幾何情報を生成する(図3(d))。

以上のような手順によって、石器の表面モデルが生成されるが、このモデルは石器の半面を表現しているにすぎない。そこで、表と裏側を別々の表面モデルとして取得した後で、このデータを利用してソリッドモデルを生成する。そのためには、表裏別々の表面モデルを最適な位置に配置し、表面の境界線を形成している部分を縫い合わせる操作を施すことによって、表裏別々のモデルからソリッドモデルを生成することができる¹⁰⁾。以下に、位置合わせと縫い合わせに関する詳細な手順を示す。

位置合わせの手順：位置合わせは、次に示す3つの手順から成る。

- (1) 初期位置合わせ：表裏別々の表面モデルにおける境界線上で、同一の点とみなされる3点をそれぞれ選択し、3点で決定される平面同士的位置を合わせる(図4)。

表側と裏側のそれぞれの境界線上の3点をそれぞれ $(\mathbf{l}, \mathbf{m}, \mathbf{n})$, $(\mathbf{l}', \mathbf{m}', \mathbf{n}')$ とする。ここで、 \mathbf{l} を原点とし、 \mathbf{m} へ向かう単位ベクトルを \mathbf{V}_1 、 \mathbf{n} へ向かう単位ベクトルを \mathbf{V}_2 とおき、 \mathbf{V}_1 と \mathbf{V}_2 の外積の方向のベクトルを \mathbf{V}_3 とする。ベクトル \mathbf{V}_1 をx軸、 \mathbf{V}_3 をy軸とし、x,y軸の外積の方向をz軸とするローカル座標系を生成する。裏側も同様の手法によりローカル座標系を生成する。表裏のローカル座標系が一致するアフィン変換を定義し、表裏モデルの位置を大まかに合わせる。

- (2) 境界線の評価：表裏モデルは裏表の形状を別々に測定した結果なので、一般には境界が完全に一致しない。従って、表側の境界線上の点と、裏側の境界線に接触するポリゴン間の距離の二乗和が最小になるような評価を行い、最適な位置を決定する必要がある(図5)。

表側モデルの境界曲線を構成する頂点を \mathbf{a}_i とし、 \mathbf{a}_i と裏側モデルの境界曲線に接触するポリゴンとの最短距離 d_i を算出する。例えば、ポリゴンの重心を \mathbf{b}_j 、ポリゴンの法線ベクトルを \mathbf{n}_i とすると、頂点 \mathbf{a}_i とポリゴン間の最短距離 d_i は次式で与えられる。

$$d_i = ((\mathbf{a}_i - \mathbf{b}_i) \cdot \mathbf{n}_i) \quad (1)$$

ただし、「 \cdot 」はベクトルの内積を表す。

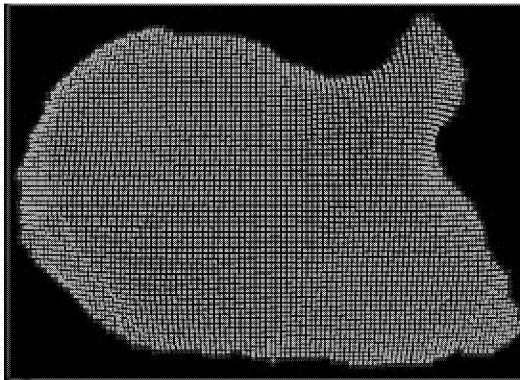
表裏モデルの位置が合えば、距離 d_i の総和がゼロに近づく。本研究では、次式のような評価関数 D の値が最小になる座標変換を導出する。

$$D = \sum_{i=0}^n (d_i)^2 \quad (2)$$

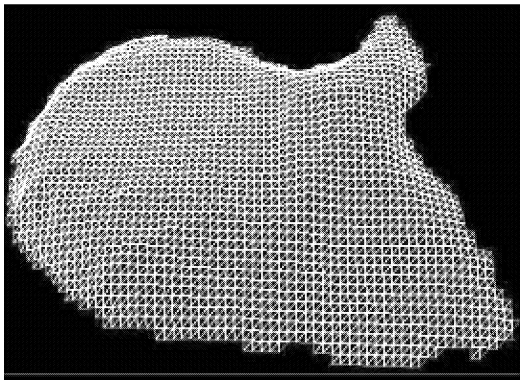
ただし、表側の頂点の個数は、 $n+1$ 個とする。



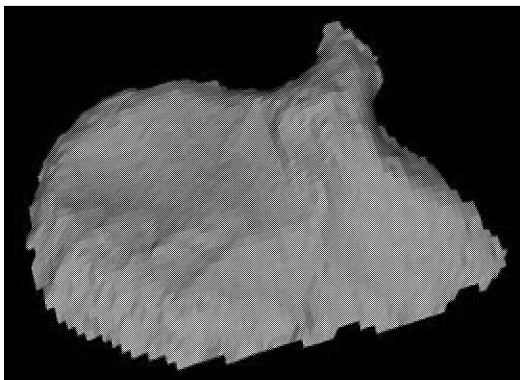
(a)



(b)



(c)



(d)

図3 3次元モデル化の流れ

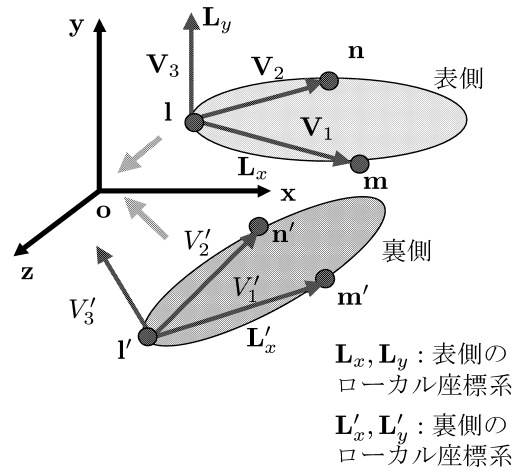
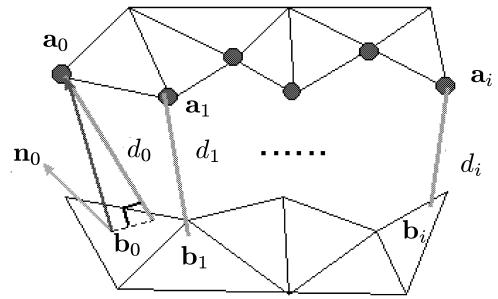


図4 表裏モデルの初期位置合わせ



a_i : シェル1の境界点
 b_i : a_i に対応するシェル2の境界点を含む面
 d_i : a_i に対応する b_i までの距離
 n_i : b_i での単位法線ベクトル

図5 表裏モデルの評価

- (3) 座標変換 : (2) で述べた評価に基づいて座標変換を行う。

表側の頂点の座標 a_i を x, y, z 軸周りにアフィン変換した結果の座標を a'_i とすると次式が得られる。

$$a'_i = M a_i \quad (3)$$

M は 3×3 行列であり、次のような要素をもつ。

$$M = \begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 \\ r_3 & r_4 & r_5 \\ r_6 & r_7 & r_8 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
r0 &= \cos \theta_y \cos \theta_z \\
r1 &= \cos \theta_y \sin \theta_z \\
r2 &= -\sin \theta_y \\
r3 &= \sin \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z - \cos \theta_x \sin \theta_z \\
r4 &= \sin \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z + \cos \theta_x \cos \theta_z \\
r5 &= \sin \theta_x \cos \theta_y \\
r6 &= \cos \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z + \sin \theta_x \sin \theta_z \\
r7 &= \cos \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z - \sin \theta_x \cos \theta_z \\
r8 &= \cos \theta_x \cos \theta_y
\end{aligned}$$

ただし、 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ は各座標軸における回転移動量を示す。

座標値 a'_i を、式(2)に適用し、最小二乗法により近似解を導出する。ここでは、回転角 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ を未知数として、表側の頂点と裏側のポリゴンの距離の総和が最小となる回転角を導出する。次に、同様の方法で座標軸ごとの平行移動量を未知数として式(2)に適用し、最小二乗法により近似解を導出する。

以上のような手順によって、表裏モデルの最適な位置あわせを行う。

縫い合わせの手順：縫い合わせは、次に示す3つの手順からなる。

前述した位置あわせを実行した結果、表裏のモデルの最適な位置を決定できる。しかし、表と裏側の境界曲線は一般には一致しておらず、隙間が空いたり、境界のポリゴンが交差している。そこで、ソリッドモデルを生成するための次の処理として、表裏モデルの境界線の近傍を縫い合わせる処理を行う。縫い合わせ処理では、表裏モデルの境界線を一致させることによって隙間を埋める。以下にその手順を示す。

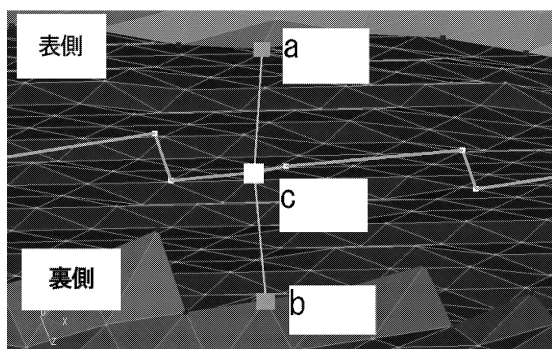


図6 共通境界曲線の生成

(1) 共通境界曲線の生成

表裏モデルのそれぞれの境界曲線上の点を利用し、縫い合わせるための共通境界曲線を生成する。図6では、表側のモデルの境界曲線上の頂点を **a**、裏側の境界曲線上の頂点を **b** で示

す。まず、頂点 **a** と最短距離となる頂点 **b** を探索する。次に、頂点 **a** と **b** の平均の位置に、共通境界曲線上の頂点 **c** を生成する。

(2) 頂点 **a, b** の移動

頂点 **a** と **b** を **c** の位置まで移動する。この操作により、表裏モデルの境界曲線は、共通境界曲線上へ移動することができる。ただし、境界曲線上の点の数は表裏モデルで同一とは限らないので、頂点数が多いほうの境界曲線上の頂点は、共通境界曲線上へ移動することができない。このような頂点は、そのままの位置に残される。したがって、表裏モデルには、図7に示すような隙間が空いた状態となる。

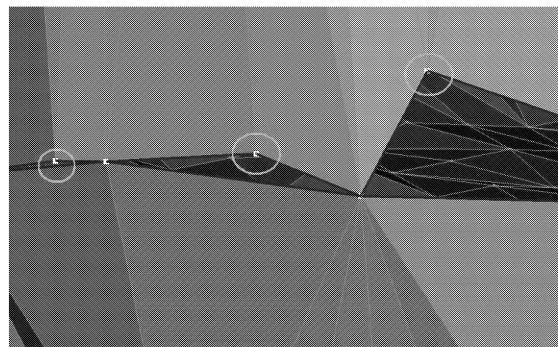


図7 隙間処理

(3) 隙間の処理

隙間を形成している頂点 **a** と、その頂点を持たない境界曲線上の頂点が最短となる頂点 **b** を探索し、頂点 **b** へ **a** を移動する。最後に、縮退したポリゴン、すなわち面積がゼロになったポリゴンを削除する。

以上のような操作によって、表裏モデルの境界曲線は共通の位置に生成される。共通の境界曲線を持つ表裏モデルは、幾何的に隙間なく連結することが可能であるので、容易に縫い合わせすることができる。以上のような手順により、石器の3次元モデルを生成することができる。

4. 立体視システム

近年立体視可能なディスプレイやノートPCなどが発売されるようになってきており、3次元データをより立体的に可視化する技術が身近になってきている。立体視技術はハイビジョンの次にくる技術として注目されており、コンテンツ制作やディスプレイ技術の進歩は目覚ましい⁹⁾。

我々は、生成した3次元モデルをWeb配信する際に、立体視ディスプレイに関する情報を付加し、閲覧者が立体視ディスプレイ装置でWebページを閲覧する場合に

は、容易に立体視できるような閲覧環境を提案する。本章では、3次元モデルを立体視するための情報の生成方法と Web サーバへの3次元モデルの蓄積と配信について述べる。

4.1 立体視情報の生成

立体視ディスプレイには、単眼視、両眼視など様々なタイプのものが存在するが、Windows パソコンを利用して比較的安価に設置できることと、パソコンのディスプレイを通じて、石器を実物大で閲覧することを考慮し、両眼立体視を用いる。両眼立体視を実現するためには、両眼視差と両眼輻輳をパラメータとし、左右眼それぞれから見たときの画像を生成し、提示すればよい。図8は、そのパラメータを示している。左右眼の距離 P を両眼視差とし、視点から投影面へ下ろした垂線の足 L と注視点との距離、すなわち表示領域中心と視線とのずれを表すパラメータを F とする。また、より奥行き感を出すために、3次元物体を注視点から視点の方向へ微妙に平行移動するための奥行き感の値を入力パラメータとする。これら3つのパラメータを適切な値に設定し、その後、3次元モデルの属性情報として、形状に付加する。図9は、我々が開発した立体視向けオーサリングツールである。このツールでは、立体視のための3つのパラメータを手動で調整することができる。通常は、「初期化」ボタンにより、視差と輻輳角を自動的に設定し、グラフィックス画面を見ながら、パラメータを微調整する。図9の左側の図では、左右眼へ入力されるべき画像の模式図を示す。石器の画像が2つ表示されており、それぞれ左右眼へ転送されるべきデータである。ただし、この図は理解を深めるためのものであり、実際には、2つの画像はこれほど離れて描画されるわけではない。

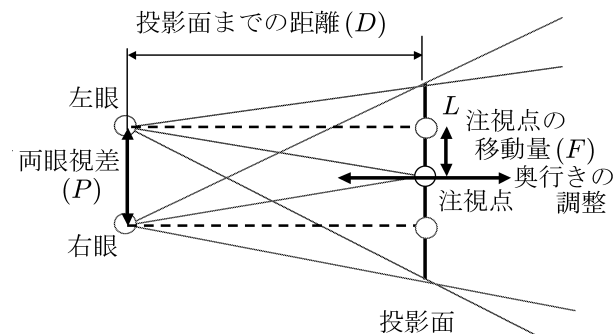


図8 両眼立体視パラメータ

4.2 3次元モデルの蓄積と配信

本手法では、立体視情報が付加された3次元モデルと様々な文書を統合化し、Web サーバへ蓄積することによって、インターネットを通じて閲覧する。3次元モデルには、インターネット上での3次元モデルを記述する形式である XVL(eXtensible Virtual world description Language)¹³⁾ を用いる。XVL は、XML をベースとし



図9 立体視オーサリングソフトウェア

た3次元モデルの記述言語であり、インターネット上で3次元モデルを交換することを目的として開発された。図10に、その模式図を示す。XVL では、3次元モデルに対して色や注釈を付加した3次元モデルを生成し、そのモデルと HTML 文書とのリンクを生成することによって、文書と3次元モデルとの関連付けを行うことができる。更に、4.1節で述べたように、立体視のためのパラメータを3次元モデルの属性として付加する。以上のような情報を付加した3次元モデルと HTML 文書を Web サーバへ蓄積することによって、場所や時間にとらわれずに自由に3次元モデルを閲覧する環境が構築できる。

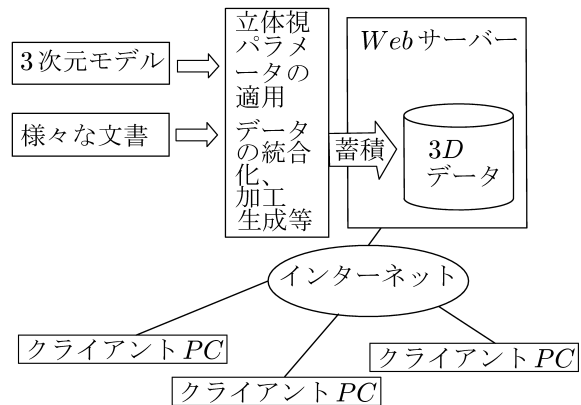


図10 3次元モデルのデータの流れ

一方、情報を閲覧する側のクライアント PC では、3次元モデルを閲覧するためのプラグインソフトウェアをインストールしておくことで、3次元モデルを含んだ Web ページを閲覧することができる。本研究では、3次元モデルを閲覧するためのプラグインソフトウェアである XVL Player¹³⁾ に、立体視機能を追加することで実現する。立体視機能は3次元グラフィックスライブラリである OpenGL¹¹⁾ を用いて実装する。クライアント PC に接続された立体視ディスプレイ装置が OpenGL の Quad バッファステレオにて、立体視できることが必要である。

図11では、立体視ディスプレイを実現する装置の例を示す。まずクライアントPCには、OpenGLのQuadバッファステレオ機能を利用可能なグラフィックスボードを搭載する。また、本システムでは時分割方式を採用したため、液晶シャッターめがねを用意する。次に、ディスプレイ装置では、モニタのリフレッシュレートが120Hzのものを利用する。これは、時分割方式により、左右眼へ提示される画像のリフレッシュレートを60Hzに保つためである。

クライアントPCにて、例示したような立体視のための環境が整えられていれば立体視表示をすることが可能となる。もし、通常の平面ディスプレイで3次元モデルを閲覧する場合には、通常のXVL Player を利用すればよい。通常のXVL Player では、立体視のためのパラメータは無視されるだけで、その他の機能はすべて利用することができる。

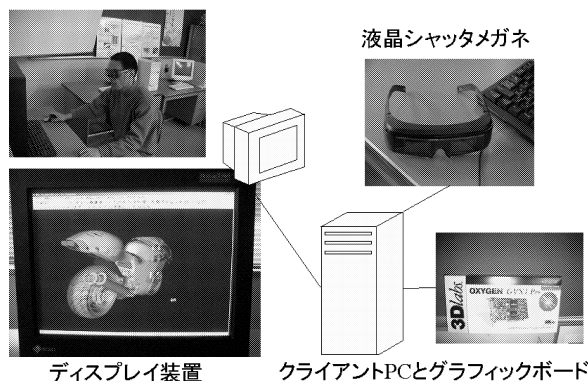


図11 立体視ディスプレイ環境

5. 実行例

本章では、幾つかの石器データを測定し、3次元モデルを生成した例を示す。また、3次元モデルに対して立体視パラメータを付加し、Webサーバーから配信した。クライアントPC上に、立体視用プラグインをあらかじめインストールしておき、Webサーバーから配信された3次元モデルを閲覧する実験を実施した。

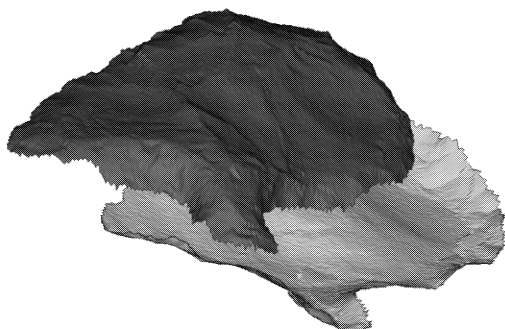


図12 接合前の表裏モデル

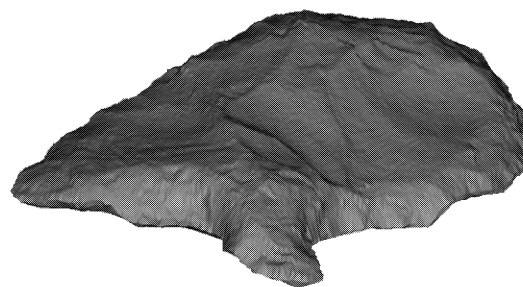


図13 接合後の表裏モデル(ソリッドモデル)

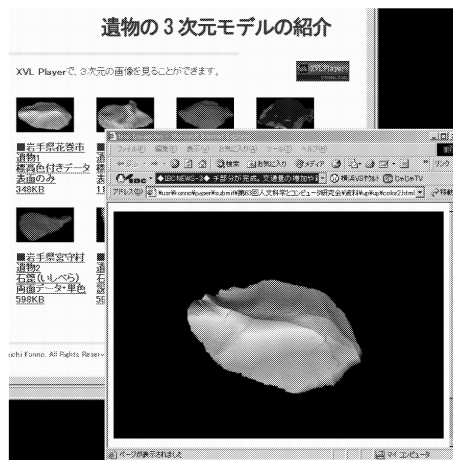


図14 配信用 Web ページ

図12は、ある石器を3次元測定機器で測定したデータに基づいて生成した表裏モデルである。石器の表側と裏側を別々に測定した結果を示している。このモデルに対して、位置合わせ及び縫い合わせ操作を行った結果が、図13である。この図を見ると分かるように、表裏別々のモデルが境界線で縫い合わされ、一つの3次元モデルとなっていることが分かる。

次に、生成された3次元モデルに立体視パラメータを設定し、Webサーバーへ蓄積した例を示す。図14は、石器データを蓄積したサーバーをクライアントPCから閲覧したときのイメージ図である。この図では、石器モデルをサムネイル画像として一覧表示してある⁷⁾。実際のURLは <http://gmhost.lk.cis.iwate-u.ac.jp/research/up/index.html> である。また、各画像をクリックすることによって、3次元モデルがダウンロードされ、新たにWebブラウザが起動し、その中に3次元モデルが表示できる。3次元モデルの表示は、立体視機能付きのXVL Playerで表示されるので、自由な視点から閲覧することが可能である。また、前述したようにクライアントPCが立体視ディスプレイ装置に接続されていればWebブラウザ上で立体視ディスプレイが可

能となる。さらに、3次元モデルにリンクを生成することによって、3次元モデルをクリックすると、そのモデルに関連するHTML文書を表示することも可能である。

以上のように、立体視パラメータ付きの3次元モデルを生成し、プラグインソフトウェアを利用すると、遠隔地において石器モデルを閲覧する機会が増えるとともに、通常の平面ディスプレイでは得られない立体的な閲覧も可能である。

6. まとめと今後の課題

本論文では、石器を3次元測定機器で測定したデータを用いてデジタル化し、デジタルデータに基づいた、統一的な活用法について提案した。様々な活用法のなかで、測定した表裏モデルから3次元ソリッドモデルを生成する手法と、生成した3次元モデルをWebブラウザを通じて立体視する手法について述べた。本手法によって、閲覧の制限なく石器モデルを観察したり再利用することが可能となった。

今後は、用途に応じた3次元モデルを生成する手法についてさらに研究をすすめ、多くの利用法の確立をめざす。

謝辞 本研究で利用した石器データを提供いただいた、岩手県花巻市教育委員会及び岩手県宮守村教育委員会に感謝する。

参考文献

- 1) 安達文夫, 鈴木卓治, “博物館における資料のデジタル化とその活用”, 情報処理学会誌, Vol. 43, No.10, pp.1058-1063, (2002).
- 2) <http://www.adobe.co.jp/>
- 3) 浅沼功二, 千葉史, 今野晃市, “遺物の3次元モデル化とWeb配信”, 日本情報考古学会第16回大会, pp.71-76, (2003).
- 4) 浅沼功二, 千葉史, 今野晃市, “石器実測図作成のための3次元特徴追跡手法”, 日本情報考古学会論文誌, Vol. 9, No.2, pp. 1-10, (2003).
- 5) 加藤晋平, 鶴丸俊明, 石器入門辞典—先土器, 柏書房, (1994).
- 6) 今野晃市, “Web3Dによる3次元データの活用”, 日本機会学会誌, Vol. 106, No.1013, pp. 46-49, (2003).
- 7) <http://gmhost.lk.cis.iwate-u.ac.jp/research/up/index.html>
- 8) 倉爪亮, 西野恒, 佐川立昌, 大石岳史, 高瀬裕, 池内克史, “The Great Buddha Project—大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化—”, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.7, No.1, pp.103-114, (2002).
- 9) 新津靖, “裸眼立体視技術の最新動向”, 情報処理学会誌, Vol.45, No.5, pp. 510-515, (2004).
- 10) 荷田哲久, 千葉史, 今野晃市, 徳山喜政, “石器ソリッドモデル作成のための最適位置合わせ”, 日本情報考古学会第17回大会, 日本情報考古学会, pp. 43-48, (2004).
- 11) Manson Woo, Jackie Neider, Tom Davis: “OpenGL プログラミングガイド第2版, 1997”, ピアソンエデュケーション.
- 12) 鳥谷浩志, 千代倉弘明: 3次元CADの基礎と応用, 共立出版 (1991).
- 13) 鳥谷浩志: *XVL 3D ネットワーク規格 実践ガイド*, CQ 出版社 (2002).
- 14) 塚本敏夫, “考古遺物用3Dデジタルアーカイブシステムの開発とデータ活用法の研究”, 情報処理学会誌, Vol. 43, No. 10, pp. 1070-1077, (2002).
- 15) 塚本敏夫, “考古学と映像情報”, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No. 6, pp. 665-669, (2003).
- 16) 吉澤康雄, 堀川忠弘, 後藤敏行, 大竹幸恵, 植木武, “画像処理を用いた石器の実測図作成支援システムの検討”, 情報考古学会第16回大会, pp.81-86, (2003).