

## CGクリエイターのための人体模型コンテンツ開発

金 尚泰\*

### Development of the interactive human anatomy tool for Art & Design

Sangtae KIM

#### 抄録

人体の理解は、芸術・デザイン系やコンテンツ制作分野において、造形物を作り上げるためのテクニックの原点である。人体への理解は、デッサン、スケッチを含む表現行為の基本となり、芸術・デザインだけに限らず、特にCGデザイン系のクリエイターには必修となる知識と言える。しかし医学系向けの人体模型教材は、実際の模型から書籍まで数多く存在するが、芸術・デザイン領域に特化した教材は数少ない。特に両分野とも3DCG技術を用いて視点を自由自在に変化させながら必要な部分を観察するインタラクティブ教材はほとんど例を見ない。

本稿で述べる3D人体模型は、医学系用のコンテンツではなく芸術・デザイン、CGクリエイターを主な対象としたインタラクティブ教材である。コンテンツには、人体を作り上げるために基本となる骨組み、筋肉、ポーズ、人体の動きが収録されており、各々の表現方法としては、リアルタイムレンダリング手法とリアルタイムインタラクション手法を取り入れた。本稿では、人体を学ぶインタラクティブ教材制作全般の流れについて述べる。

#### Abstract

Understanding human anatomy is the starting point of creating figures in the fields of art and design and content production. It is the basis of artistic expression such as drawing and sketch and the essential knowledge for creators of computer graphics. While there are various kinds of anatomical models and medical software and books for understanding human body in medicine, there are none specialized for the field of art and design. The author developed the interactive learning tool for creators in the fields of art, design, and computer graphics to understand human anatomy for their purpose. With the tool, they can observe human anatomy with changing their point of view freely. The structure of the skeletal and muscular system, poses, and human movements are contained and created by real-time rendering method and Real-time interaction method. In the present article I described the whole process of the development of the interactive learning tool for understanding human anatomy.

\* 筑波大学図書館情報メディア系  
Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

## 1. 背景

### 1.1 解剖学による美術教育の歴史

アンドレアス・ヴェサリウス（1514~1564）は解剖学の基礎を築いた人物であり、著作である「ファブリカ」と呼ばれる人体の構造に関する七書が解剖学教材としていまだに重要な文献として扱われている。ファブリカは、A3の大きさに描かれた700ページに及ぶ大作である。古代ローマは、医学者の権威が高く、絵よりは文書のみで書かれた書籍が最も正しいとされていた時代である。ファブリカには、解剖学教科書という人体の構造を解説する役割のほか、実際に人体を解剖する方法を教えるという実習書の役割もあった。また、精妙な解剖図になっており、実際に解剖をする機会のない人たちにも、人体の構造を説明するという解剖見本の役割も持っている。

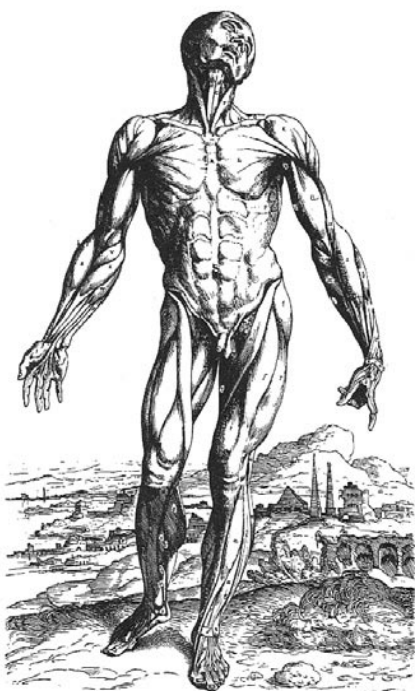


図1 ファブリカ700枚中の一枚（1543年）

このような絶対的な内容を含むファブリカであるが、もし、文字のみで構成されているのであればこれほどの衝撃をもたらす事は無かったと思われる。具体的で、正確な解剖図があったからこそ、記述の内容を明確に伝える事が出来たと言える。ファブリカには、現在の教科書にある正面、側面、背面という説明図だけではなく、生き生きしている魅力的な絵が多数見られる。科学的な解剖書というより、美術書としての作品性さえ感じられる。このように生きていた姿を描くという姿勢は、近代の生

物学者とは異なり、芸術家としての資質を表している。例えば筋肉図においては、筋の収縮などの状態を見事に再現していることや、構図、ポーズ、筋のバランスを見るとヴェサリウスは創造的な解剖学者よりは、ルネサンス時代の芸術家として捉えるべきである。それに合わせ、ルネサンス時代に発明された遠近法によって、3次元である対象を2次元で表現する方法が確立される。

人体を的確に表現するにはその内部構造を把握しなくてはならないという美術教育の基本が、初めて提唱されたのがルネサンス時代である。それまで職工と呼ばれた芸術家たちは、新しい社会的な地位を獲得するのに自分たちの仕事の支えとなる体系的な知識の習得が欠かせないと考えられるようになる。骨格を把握し、そこに腱、筋肉を合わせるには解剖学の知識が必要になり、そのため芸術家たちは解剖学の実践にかかわるものを必要とした。16世紀半ばから芸術家たちは絵画化された解剖学、すなわち解剖図から知識を吸収するようになる。

### 1.2 IT技術と解剖図

近年、IT技術の目覚ましい発展にも関わらず、日常生活の中では、二次元の「絵」を描くことに比べて「立体」の絵に出会う機会は少ない。趣味においても、陶芸や模型制作といった分野がある程度である。IT技術の進化により、想像を3D空間内で手軽に納める事ができ、表現の幅が広がりつつある。ワークステーション級の高度・高価な計算機、機能別に細かく分かれたアプリケーションソフトが、IT技術の飛躍的な発展とともにパーソナルコンピュータベースでも十分なパフォーマンスと使いやすさを提供する。一方、統合されたソフトウェアも初心者向けに進化する傾向にあり、興味さえあれば短時間で学習することができる。このようなIT技術を基盤として体験できる教材、ユーザが想いのままに探索できる使い勝手の良い教材コンテンツの制作環境も整えられつつある。

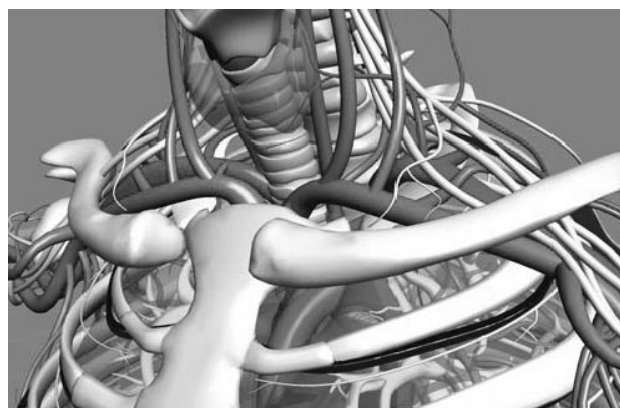


図2 3DCGで再現した人体構造

さらにコンテンツ産業の急速な発達につれ、制作者すなわち次世代でのクリエイター育成とその支援策に関する具体的な提案も必要になりつつあり、その必要性が加速を増しているとも言える。そこで、デジタル技術と芸術・デザインの融合による人体解剖学教材開発に注目した。

## 2. 目的

芸術・デザイン、体育、医学にわたり、人体の仕組みへの知識は必修不可欠な基礎として要求されている。CGは、アート・デザイン、エンターテインメントなどの創造的作業のために今まで開発されたツールの中、最も人体を扱うのに適したツールである。3DCGの場合、3次元空間を精密に想定することができる。想像と感覚で描く間取り図とは根本的に違い、人体は複雑であり精密な形をとっているため、3DCGを用いた解剖学教材は最も適した学習ツールになると考えている。

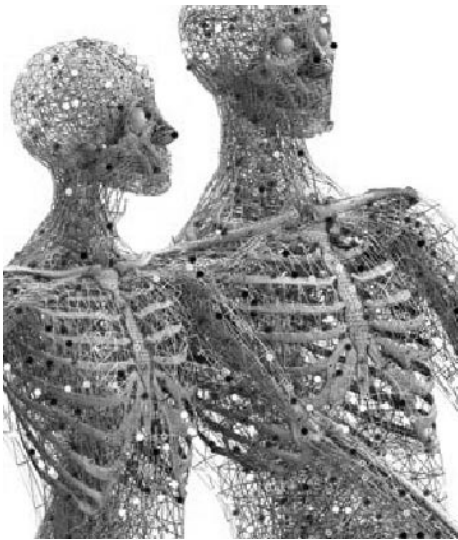


図3 制作した人体模型モデル，男性女性各々約60万ポリゴン

人体形状とその動きは、背景で述べたようにデザイナー、学生全てのクリエイターにとって必要不可欠な基礎知識と言える。今回開発したコンテンツは、3次元空間の中で、自由自在に「アングル・拡大縮小・移動」の操作が可能なインタラクティブ人体模型である。特にアート・デザインやクリエイターのためのコンテンツ制作に対する人体構造の理解、人体形状とポーズデータが参照できる。医学の視点から人体の構造を説明するコンテンツは多数あるが、デザイン、クリエイターの視点からの3DCG教材は存在しない。本コンテンツは、骨の構造、筋肉、皮膚に現れる線の動きに至まで、本格的な人体構造

を、様々な視点から観察できる。また、構造の説明だけではなく、デッサンの練習などにも役立つポーズ集も含む。3次元のポーズデータを描きたいアングルで表示させ、スケッチ、ドローイング、デッサン練習ができ、様々な場面で説得力のある豊かな表現を可能とする。本人体模型コンテンツを通し、人体の仕組みを理解する事で、芸術・デザイン、情報系コンテンツクリエイターに対し、豊かな表現が可能となると考えている。

既存の教育には、人体デッサンなどの授業が取り入れられているが、線の流れが中心になっており、仕組みそのものは、学生たちの想像力、もしくは独学での習得が求められることになっている。反面、デジタル技術の進歩は人体の構造データをアーカイブ化し、人体工学分野では一般的な基礎資料として扱われていることを考えるとデジタル教材は人体構造を理解するための最も有効な資料となる。芸術、デザイン分野は、医学とことなり、人体模型、もしくは実物を目にするのは難しく、かつ最もその知識が要求される分野である。そこで、本研究では、人体模型を三次元空間に表現し、いつでも手軽に閲覧できるコンテンツを制作した。

本コンテンツは、下記のような要素表現を基に制作された。

**骨：**骨を基本とする線の流れの自然さを把握でき、体重の移動による人体のバランスを判断できる根拠になる要素

**筋肉：**骨を取り巻くボリューム感を導き出す曲線の把握、それによって人間らしさを表現可能になる。

**ポーズ：**体の重さ中心と、曲線の流れ、デフォルメを把握

人体を描くために必然的な要素である動きを改めて観察できるよう単純動きをアニメーションとして収録

～ それらを芸術・デザインに活用するためには自由な視線からの観察ができるようにする事。アングルのコントロールが容易である事が条件として挙げられる。

### 2.1 研究のアプローチ

研究のアプローチとしては、下記の2点に重点を置いた。一つは、計量化、レンダリングの効率化、直感的な操作感を重視し、一般ユーザでも使いやすいコンテンツとして仕上げる。もう一つは今後このようなコンテンツを次々と開発するのに使えるオーソリングソフトウェアを開発する。特に3Dポリゴン圧縮の自動化や簡単にHTML文書として書き出せる制作者側で使えるソフトウェアの開発である。

ポリゴンの軽量化により、リアルタイムインタラクシ



ョンが可能になり、自由なアングルでの観察ができる。制作過程では、HTMLでの扱いを基本とする。その理由は、一般のパソコンであれば、OSとともにインターネットブラウザが基本的にインストールされているので、特にビューアソフトが無くてでも閲覧できるからである。3Dモデルは java 3Dに変換し、java script, xmlを用いてコントロールする。データの収納と表示方法を変えることによって、順次にコンテンツを呼び出す仕組みを構築する。この方法により、パーツ別の手軽なアクセスができ、かつユーザ側でも慣れた操作が可能となる。

### 3. 制作

#### 3.1 感性的表現要素

人体形状を作成するとき、我々はいつもジェスチャーとリズムのポイントについて意識する。ジェスチャー要素が正確に整理・表現されているとそれがバランスを取ってはっきりとした印象的なスカulptチャになる。ジェスチャーはフィギュア中の、全体的な動きのある曲線やアクションのラインである。図4は、彫刻の上に重ねたジェスチャーの線である。ジェスチャードローイングの目的は、フィギュアの輪郭を書く事ではなく、アクションのエネルギーや向きを表す。



図4 彫刻の上に重ねたジェスチャーライン「ラオコーン紀元前175-150年」

ジェスチャーはスケッチをするときと同様、スカulptチャにも重要である。明確なジェスチャーを持っていないフィギュアは、生き生きしない。よく考察されたスカulptチャであっても、人体構造的に正確であっても、ジェスチャーが無ければ見る人の心を動かす事はできない。ジェスチャーは、ニュートラルポーズをとっていても正

確に見て取れる。体の骨にはジェスチャーがあり、そのジェスチャーが肉付けられたフィギュアの外觀に伝わってくる。このジェスチャーが感じられないとキャラクターは全体的なリズムを持たない、チューブの集まりのように見える。

そのジェスチャーと密接に結び付いているのがリズムである。リズムとは、フィギュアの中に存在する曲線や形状のことである。図5は、頭部、胸、骨盤の位置が生み出すリズムを表している。各部分が互いにバランスを取り、移動、回転するとき人間らしさの流れが作り出されている。

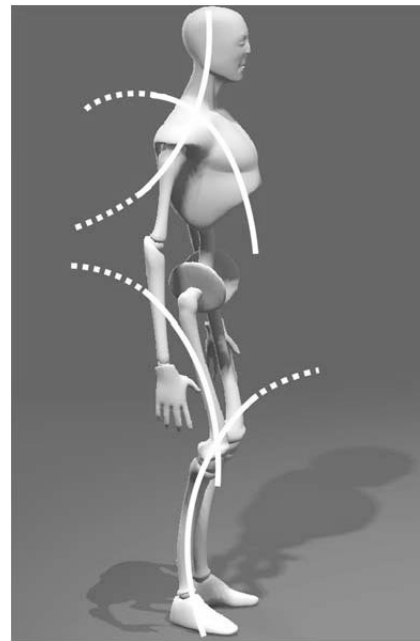


図5 骨格に現れる曲線のリズム

骨格の曲線に見られるリズムは、最も基本的なものから非常に複雑なものまで、どのレベルでも同じ共通リズムが繰り返されている事がわかる。骨格に存在するこれらのリズムは、筋肉の形状に影響し、最終的には肉付け



図6 ジェスチャードローイングの例

された脚の外観に反映されていることがわかる。この内容が、本コンテンツの制作意図であり、学習ツール活用のポイントとなる。

### 3.2 技術的要素

3DCGモデルをリアルタイムで表現するには、レンダリング手法とデータ軽量化の組み合わせをバランスよく考えなければならない。

#### 3.2.1 レンダリング手法

レイトレーシングは、膨大な計算時間を必要とするためハードウェア内部でグラフィックスを処理する高価なGPUを装着した専用計算機でない限りリアルタイム処理は難しい。しかも教材は、一般のスペックのパソコンで動かないと普及・活用は困難である。その条件を満たすため、レンダリング手法は最も計算量が少ないスキャンラインレンダリングを用いて、テクスチャマッピングを細かく処理する方法で、画像のクオリティを高める方法を取る。しかし、計算量の少ないスキャンラインレンダリングにしても一般のパソコン環境で人体のような100%曲線で成り立つポリゴンモデルをリアルタイムで計算する事は物理的には不可能であり、ポリゴンを圧縮する方法の開発は必修な課題になる。

#### 3.2.2 データの軽量化

##### 3.2.2.1 ポリゴンの仕組み

三つの頂点、三つのエッジからなるフェースをポリゴンと言い、ポリゴンの塊をメッシュと呼ぶ。

図7は、ポリゴンで形成された3Dメッシュの例である。注目するポイントは、全体の形には影響しないポリゴンが多数存在する事であり、必要ではないポリゴンを抽出・取り除けば、データ容量を減らせる事ができ、結果的に計算量を減らすことができる。人体は、100%曲線で構成されている。ポリゴンは三つの頂点とエッジで構成されるので基本的に直線しか存在しないため無数の短い直線で繋ぎ、曲面として表示する。すなわち曲線を三次元空間に表現するためには、無数の短い曲線をつなぎ合わせる必要がある。ポイント、エッジ、ポリゴンをどのように効率よく軽量化するのが鍵になる。人体模型は間違いなく、最もポリゴンとしての表現が難しい素材の一つである。

##### 3.2.2.2 ポリゴン圧縮処理

ポリゴンを減らす方法としてエッジ折り畳み (Edge collapse) 手法を用いた。この手法は2つの頂点を1つの

スポットに移動させることによってエッジを取り除いていく方法であり、図7のように頂点処理を行う。このソリットモデルでのエッジ折り畳みは、全部で2つの三角形ポリゴンと3つのエッジ、1つの頂点を取り除く。従って3000ポリゴンで形成されたモデルに1500のエッジ折り畳みを適用すると、その面は0に減る。V個頂点を持つ三角形ポリゴンメッシュは約 $2v$ の面と $3v$ のエッジを持つ。この規則は立体表面に対するEulerの定義、 $v-e+f-2g=2$  (ただし、 $v$ は頂点の個数、 $e$ は辺の数、 $f$ はメッシュ内の面の数、および $g$ は穴の数を示す) を使って導出できる。エッジ折り畳みを順番に記録しておけば単純化したモデルから複雑なモデルに復元できるため、データベースのエッジ折り畳み方式を利用、モデルを確認しながら圧縮を適用する方法も利用可能である。従って、 $u$ を $v$ の位置に折り畳むことと逆に $v$ を $u$ に戻すこともできる。最適配置 (optimal placement) を使えば、より広い範囲での圧縮可能性を検討できる。ある頂点を別の頂点に折り畳む代わりに、エッジの2つの頂点を新しい位置に縮小できる。

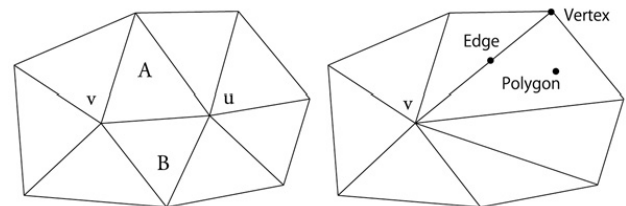


図7 ジェスチャードローイングの例

Hoppe 7) らは、 $u$ と $v$ の両方をエッジ上のある位置に移動させる研究を進めている。彼らは、最終データ表現の圧縮を改善するにはその探索を中心点のチェックに限定すれば良いとしている。最も良い頂点の配置を決めるために局所的な隣接領域の分析を行う。エッジの折り畳みコストは少数の局所変数 (例えば、エッジの長さやエッジ近くの面) に依存して計算しなければならない。それによってコスト関数を簡単に計算でき、各折り畳みは隣接領域のほんの少数にしか影響を与えない。例えば、1つのモデルに、最初に計算する可能性のある3000のエッジ折り畳みがあるとしたら、低いコスト関数を持つエッジ折り畳みを選ぶ。少数の隣接三角形とそのエッジにしか影響しないので、その変化によってコスト関数が影響を受けるエッジ折り畳み可能性しか再計算する必要は無い。折り畳みの操作は、モデルの頂点データベースをどう編集するのかによって結果が変わってくる。GarlandとHeckbert 8) は、エッジの頂点だけではなく、任意の頂点ペアが1つのペアを形成して1つの頂点に圧縮できる考え方を発表している。テストするペアの数を制限す

るため、各頂点間の距離がt以内の頂点だけがペアを形成するようにできる。このペア形成の概念は、互いに近いかもしれないが厳密には結合していない別々のサーフェイスを結合する。このような関数の動作法をDirect Xユーティリティライブラリーで利用でき、次の方程式で導出できる。

$$c(v) = \sum_{i=0}^m (n_i \cdot v + d_i)^2$$

この式は、新しい位置vとm個の平面のコスト関数で、nは平面法線、dは原点からのオフセット値である。

### 3.2.3 自動化ソフトウェア「MDD Creator」の開発

上記で述べたポリゴン圧縮手法を応用するためいくつかのポリゴン圧縮試作を試みた結果、形の決まっていない対象に対して、一律的に圧縮処理を行うには様々な問題が発生した。例えば、圧縮率は高いが、形が崩れてしまったり、形は問題ないがもっと圧縮をかけても良いものなどが頻繁に見えた。そこで試行錯誤をもとにGUIを持つソフトを開発した。言語はJAVA Swingを用いて、ユーザが手軽に対象ポリゴンを目で確認しながら圧縮率を決める事ができるように設計した。(図8)



図8 開発を行った「ポリゴン圧縮・コンテンツ開発ソフト」

#### 3.2.3.1 圧縮ソフト開発のフレームワーク

開発は、Java Foundation Classを利用しSwing Classを用いた。Java Foundation Classは、JavaのGUI開発のためのAPIセットであり、AWT, Swing, 2D APIを含む。SwingはJDK1.2から標準でサポートされており、JDK1.1でも使用できる。ブラウザでも同様に、アプレットにSwingを使用する場合はSwingコンポーネントが必要であるが、IE 4.0以降はJDK1.1をサポートしているので、コンポーネントがあれば実行できる。ほかのブラウザではSun Microsystemsが提供するJavaプラグインをインストールする必要がある。Javaの思想は「どこでも動く」というCPUやプラットフォームに依存しないプログラムである。

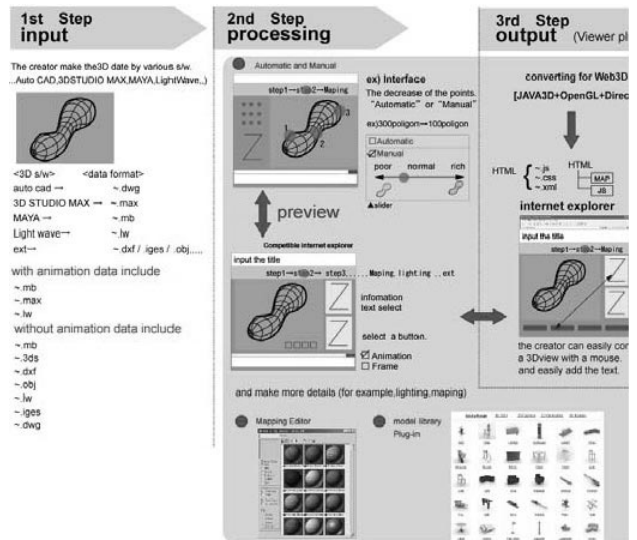


図9 3Dコンテンツ制作用圧縮ソフト「MDD Creator」の構造図

3 DCGデータを圧縮し必要な説明を付け加え、HTML形式で吐き出せる事が出来れば、これからの3DCGコンテンツ制作に対し、時間的・経済的リスクを大幅に削減する事が出来る。図9は、開発したソフトウェアの構造を表している。

コンテンツ制作用ソフトウェア「MDD Creator」の操作の流れは、下記のとおりである。

**Scene Setup**：3DCGモデルの汎用フォーマットを読み込む事ができるモジュール。一般的に使われている3DCGソフトウェアから吐き出されたフォーマットを認識し、モデルパレットに読み込んで保管する。各々のパーツは3D空間内に配置、全体のシーンを構成する。拡大・縮小・移動・スケールの調整が可能。

**Compression**：大容量の3DCGポリゴンモデルを圧縮するモジュール。エッジ折り畳み (Edge collapse)、最適配置 (optimal placement) 理論をベースとしてプログラミングしている。圧縮の過程では、ソフト内部に3Dモデルを形成するエッジ・頂点をデータベース化し、曲面とポリゴンサイズを基準としてプライオリティーをつけておく。その後ユーザのスライド調整によりプライオリティー順にエッジを消していく。この方法を用いる事によって、ユーザが3Dモデルの形状を肉眼で確認しながら圧縮率を決める事ができる。圧縮する場合、形状として必要とされるポリゴンと省略しても良いポリゴンを判断する必要がある。そのため三つの基準を設けた。第一は、「ポリゴン面積の大きさに対する判断」、第二は、「空間内の曲率判断」、第三は、その「二つを比較しプライオリティーをつける」ことである。

**Material**：圧縮により、ポリゴンが荒くなった分、3Dモデルの質感、テクスチャーを設定でき、自然な見た目



を保つ。光沢やパターンなど材質の設定パラメーターを調整できる。

Environment：シーンの中に光源、映り込みなどの環境を構築するモジュール。光源の強さ、色、陰の設定を行う。

Interaction：ホットスポット生成モジュール。3Dモデルに対し、説明や注意書きを3D空間中につける事ができる。このホットスポットは、カメラに対して常に正面を向き、インタラクティブに位置が変わるテキストや画像をシーンに追加する機能である。

Publish：作成したシーンをHTMLの形式に変換するモジュール。この段階でコンテンツを吐き出すとInternet ExplorerやFirefoxなどのWebブラウザで3Dモデルを表示・操作することが可能になる。シーン内のモデルの影や、ホットスポットもそのままHTMLファイルに埋め込まれる。

### 3.2.3.2 圧縮事例

ポリゴンの数は、形によって、もしくは制作方法によって同じ形状でも様々な値をもつ。そのため、単純にポリゴン圧縮を行ってもその結果は予測がつかない。そこで、リアルタイムでのポリゴン圧縮変換過程の視覚化が必要となる。試作でプログラミングした圧縮シミュレーターには、スライダーバーを設け、制作時肉眼でポリゴン圧縮状況をリアルタイムで確認できるよう設計した。

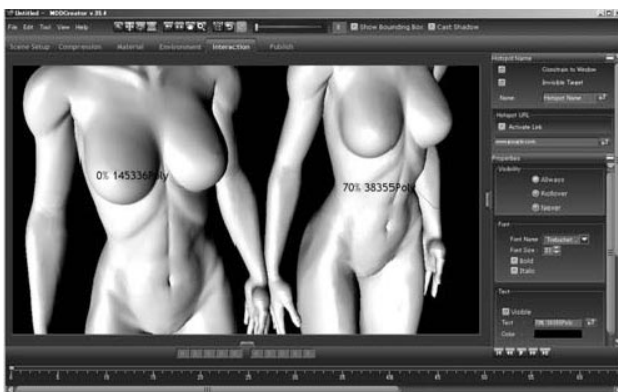


図10 70%のポリゴンを取り除いた3Dモデル

図11は、圧縮後のポリゴンの形状を表している。左側が3DCGソフトで吐き出したモデルであり、ポリゴンの数は145,336である。そのモデルに圧縮をかけ、約70%のポリゴンを取り除いた。圧縮後のポリゴン数は38,355であり、これ以上圧縮率を上げると形状が崩れ始める。このモデルの場合の最適な圧縮率は、70%であり肉眼で確認しながら圧縮パラメーターを合わせた。図11のように

wireframeで表示するとポリゴンが荒いと感じるが、図10のように見た目に影響は無い。

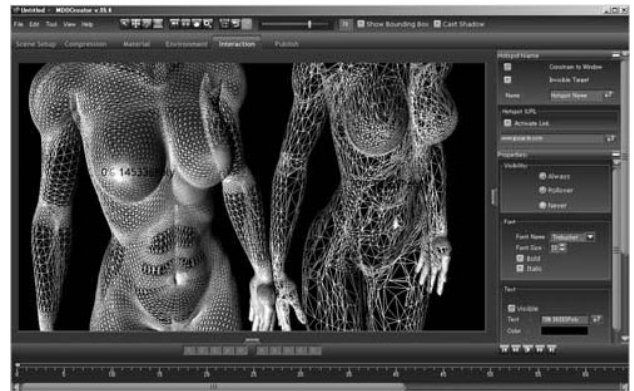


図11 圧縮後3DモデルのWireframe表示

### 3.3 人体模型コンテンツへの展開

コンテンツ制作用ソフトウェア「MDD Creator」は、曲率判断、ポリゴンの大きさ判断、両方を合わせたポリゴンのプライオリティーつけの機能を持ったインテリジェンスアルゴリズムをベースとしたため、必要なポリゴン数をユーザが決める事ができる。このソフトウェアを介し、各々の人体パーツ、骨、筋肉、皮膚を外見が崩れない最小限のポリゴンとして出力した。元のモデル60Mbから4～6Mbまで軽量化をはかり、一般パソコンでもリアルタイム計算ができる容量のモデルとなった。

全てのモデルの数は6つで、女性と男性各々の骨格、筋肉と皮膚のデータである。その後、HTMLデータとしての最適化、軽量化作業後、オーサリング作業を行い、コンテンツとしてまとめた。

#### 3.3.1 人体模型のメニュー構造

人体模型コンテンツのメニュー構造は、骨・筋肉・皮膚と分類されているが、これは本コンテンツの学習目的であり、人体を部分的に厳密に分ける方法ではない。人体は一つの塊であり、腕を曲げる筋肉が働いているときは、腕をのばすための筋肉も働く。右手で水を飲むとき左手は腰に当てるなど、人体が独立した部品の集合体ではない。この事を意識しておくことが人体理解の第一歩である。

本コンテンツでは、皮膚の動きを形作る筋肉、その筋肉の固定軸になる骨を解説し、その周りの筋肉、皮膚、ポーズ、動きの5つのメニューに分けた。それぞれ男性と女性モデルを含む。



図12 人体模型のメイン画面

角度で固定し、スケッチをする練習が重要な訓練になる。

人体の軸となる骨格とは、頭の骨と背中の中を中心とする骨格の事であり、胸の内蔵を囲んでいる骨格から骨盤までの流れを頭に入れておくと人体イメージをつかむのに役に立つ。もう一つ重要な点は、男性と女性の骨格は別物であり、その差をはっきり覚えておく必要がある。特に胸部と骨盤を注意深く観察し、把握しておく。

骨は、支持体でありながら内臓を守り、筋の付着点となって運動を引き起こすための筋のテコとなる等の働きを担う。また、骨の外表面には、特定の動きに対応した様々な特徴を持った形状が見られる。人体を描くことにあたって、表面に突出して見える骨（顔面の骨や鎖骨等）が骨格においてどのような形状で他の骨と連結しているのかを把握することによって、筋肉、表皮がある状態においても自然で説得力のある構成が出来るようになる。

3.3.1.1 骨組み

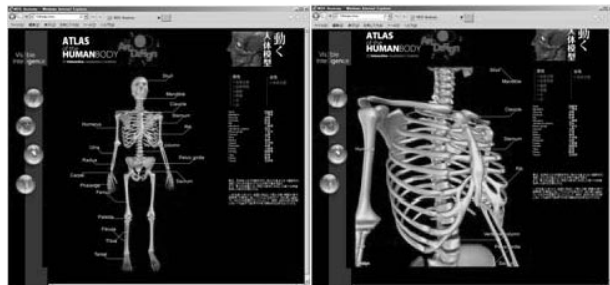
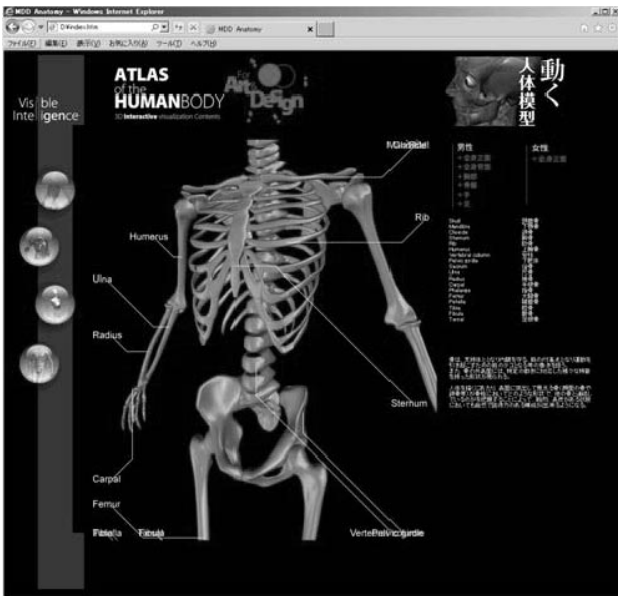


図13 骨格部分のイメージ画面

3.3.1.2 筋肉

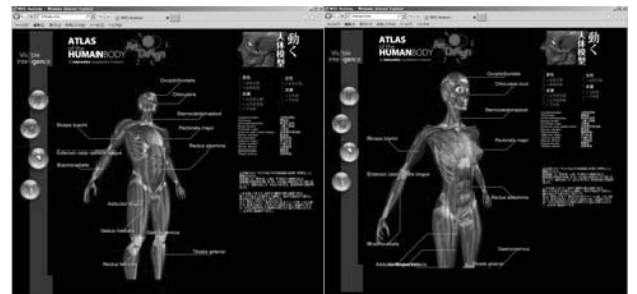


図14 筋肉部分のイメージ画面

骨の形を理解するには、よく観察する事から始まる。前、後ろ、横、斜めから様々な方向で観察する事が大切である。本コンテンツは、手に取って回せるような観察ができるよう軽量化、最適化されているため、気になる

筋肉は、人体のデッサンやスケッチの展開などで最も絵柄に影響するパーツである。筋肉は400以上のパーツから成っており、これは骨の206個より多い数である。医学の解剖で筋肉を把握する場合は400の位置を把握する必要



があるが、アート・デザインで応用される筋肉は、30個以内で、特に首、胸、肩、腕、骨盤、脚の筋肉の流れを注意深く観察する必要がある。本コンテンツでは、筋肉の名前と位置特徴をリアルタイムで角度を変えながら観察できるようになっている。骨格と同じく男性、女性の差はあるものの筋肉の場合は骨の形状に依存するため、骨の仕組みが判れば、筋肉の流れは想像できる。

全体重の40～50%を占める筋組織は高度に特殊化した細胞からなる。筋組織には、骨格筋、心筋、平滑筋の3種類がある。筋組織は持続的収縮、あるいは収縮と弛緩を交互に繰り返すことで、運動を起こす、体位の安定化、器官容積の調節等を行う。人体を描くにあたり、筋肉の観察は最も重要である。骨との付着点の位置をよく観察し、筋肉が隆起する部分と骨が突出する部分を見分ける。また、男性と女性で、筋肉が作り出すラインの違いにも注意する。男性は筋肉による形状の隆起が激しく直線的であるが、女性は筋肉同士の境界が明らかに現れる部分が少なく、全体的に曲線的である。

上半身の主な筋肉は、前面においては大胸筋、腹直筋等であり、背面においては僧帽筋、広背筋等である。外腹斜筋は前面、背面に共通する。胴体の筋肉がこんなに大きく分かれているのに対して腕の筋肉は大小様々な筋肉が複雑に伸びており、腕のひねりやそれぞれの指の動きを制御している。筋肉を描くにあたり、最も複雑で気をつけるべき部分は肩から上腕にかけての筋肉の動きと分割である。ひねり等動きを加えたときの伸び、縮みや骨が浮き出る部分にも気をつける。また、男性と女性では外腹斜筋の目立ち方が全く違うこと等にも注意する。

下肢の筋は安定性、歩行、姿勢維持の働きをするため、上肢の筋よりも強大である。さらに、下肢の筋はしばしば2つの関節を越えて、両方の関節に同じように作用する。筋肉を描くにあたっては、個々の筋肉の形状よりも付け根から関節、足首に向けての筋肉が形作るラインの流れに注目する。また、女性の場合、筋肉の隆起がほとんど無い場合が多いので、筋肉の流れをとらえにくくバランスが崩れやすいので気をつける必要がある。

### 3.3.13 ポーズ

ポーズのスケッチ練習は、繰り返し行う事で感覚を身につける事ができる最も重要な段階であり、芸術・デザイン系のカリキュラムには必ず人体デッサン授業が入る。本コンテンツでは、筋肉の動きや流れが最も良く表現されているポーズ(立つ、歩く、走る)のカテゴリを設け、各々16ポーズ合わせて48枚のポーズを収録した。男性女性合わせてそれぞれ96枚である。

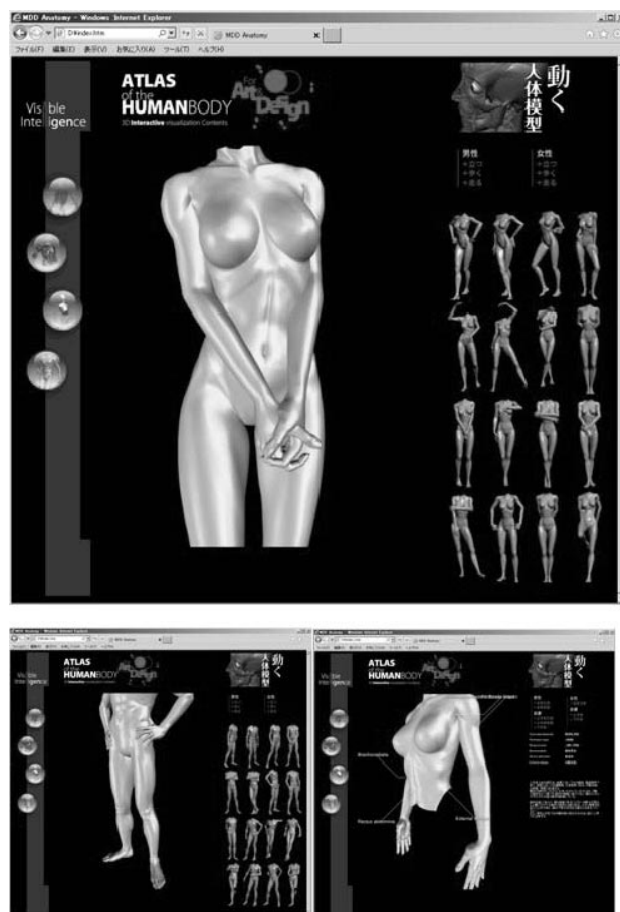


図15 ポーズ集のイメージ画面

### 3.3.15 動き

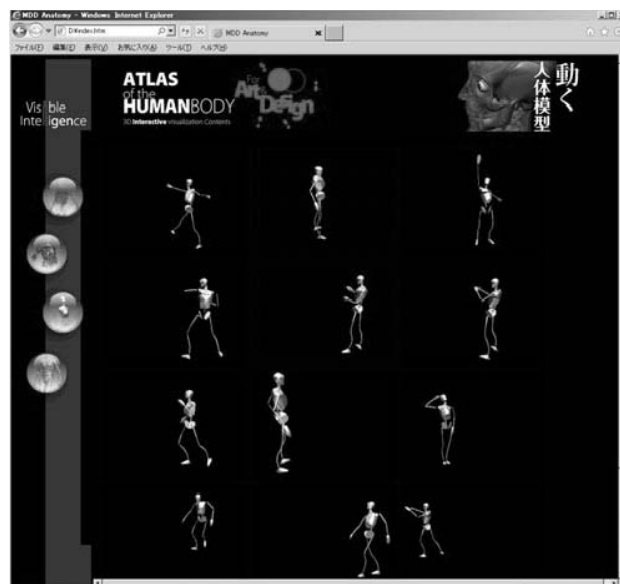


図16 動き部分のイメージ画面

基本動きとして、歩く、走る、転ぶ、寝るなど人体の体重移動を細かく観察できるアニメーションを15パターン収録した。

## 4. まとめ

本研究を通し、以下二つの成果が得られた。

コンテンツ制作が容易にできる「圧縮ツールを開発」：ポリゴン軽量化方法に関する研究は、活発に行われているが、形状を壊さない効率の良い圧縮を実現したアプリケーションは存在しない。その理由は、それぞれのポリゴンモデルを作っている制作者による作業特性（特に法線の流れの作り方）と、形が決まっていな複雑な形状のモデルが限りなく多いため、一定の基準を設けるのが困難であることが挙げられる。しかも、研究の大半は数学的な理論ベースの圧縮であり、感性的表現中心の圧縮へのアプローチはなされていないのが現実である。見た目を重視したポリゴン圧縮とは、用途に合わせたポリゴンの特性を把握した上で可能になる作業であるため、スライダーバーを用いて圧縮するようにして、ポリゴンの減り具合を確認しながら減らす量を決める方法を採用した。この機能によって、直観的にポリゴンの減量ができ、今までのポリゴン圧縮の難しさの限界を軽減したと考えている。このツールを利用する事により、コンテンツ制作時間が大いに短縮でき、コスト削減にも繋がる。さらに、コンテンツ制作に必要な人的スキルの制限が緩和され、均質なコンテンツ制作が可能となる。

リアルタイムインタラクションを用いた「人体模型コンテンツ制作」：人体形状とその動きは、本文で述べたようにデザイナー、学生全てのクリエイターにとって必要不可欠な基礎知識と言える。特にクリエイターの場合、コンテンツ制作に対する人体構造の理解は必修である。本コンテンツは、骨の構造、筋肉、皮膚に現れる線の動きに至まで、本格的な人体構造を、様々な視点から観察できるとともに3次元のポーズデータを描きたいアングルで表示させ、スケッチ、ドローイング、デッサン練習ができ、様々な場面で説得力のある豊かな表現を可能とする。本コンテンツを通し、人体の仕組みを理解する事で、芸術・デザイン、情報系コンテンツクリエイターに対し、豊かな表現が可能となると考えている。

本コンテンツは、筑波大学芸術専門学群（情報デザイン、彫刻）、体育専門学群、情報メディア創成学類にて教材として使用している。

### 4.1 今後の課題

今後の課題としては、人体模型コンテンツの使い勝手の検証・評価・改良とともにコンテンツ制作用ソフトウ

エア「MDD Creator」の操作性向上、スマートフォンやタブレットPCなど携帯端末への対応に向けた機能追加が挙げられる。

## 参考文献

- 1) Dave Brubeck, Peter Rubino. Sculpting the Figure in Clay: An Artistic and Technical Journey to Understanding the Creative and Dynamic Forces in Figurative Sculpture. Watson-Guptill. 2010.
- 2) Tomas Akenine-Moller, Eric Haines. Real-Time Rendering Second Edition. Born Digital, Inc. 2006.
- 3) Ian Norbury . Carving Classic Female Figures in Wood: A How-To Reference for Carvers and Sculptors. Stobart Davies Ltd .2004.
- 4) Sarah Simblet, John Davis. Anatomy for the Artist. Dk Pub. 2001.
- 5) 二宮陸男．医学史探訪：医学を変えた100人．日経BP社．1999.
- 6) 坂井建雄．謎の解剖学者ヴェサリウス．ちくまプリマーブックス．1999.
- 7) Garlade, Michael, and Paul S. Heckbert, " Simplifying Surfaces with Color and Texture using Quadric Error Metrics, " IEEE Visualization 98.pp.263,269, 1998.
- 8) Hoppe, Hugues, " View-Dependent Refinement of Progressive Meshes, " Computer Graphics (SIGGRAPH97 Proceedings), pp.189,198, August 1997.
- 9) Bruno Lucchesi, Margit Malmstrom. Modeling the Figure in Clay. Watson-Guptill. 1996.
- 10) マーティン・クレイトン,ロン・フィロ．レオナルド・ダ・ヴィンチ「人体解剖図」女王陛下のコレクションから．同朋舎出版．1995.
- 11) 荒俣宏．解剖の美学．リプロポート．1991.
- 12) 藤田尚男．人体解剖のルネサンス．平凡社．1989.Stephen Rogers Peck . Atlas of Human Anatomy for the Artist. Oxford Univ Pr. 1982.
- 13) ルイーズ・ゴードン, 上昭二．人体解剖と描写法．ダヴィッド社.1982.
- 14) 小川鼎三, 坂本満．アンドレアス・ヴェサリウス人体構造論解説．講談社.1976．
- 15) 坂井建雄．人体解剖のすべて：解剖学への招待．日本実業出版社．1988．

(平成24年9月25日受付)

(平成24年10月31日採録)