

解説

Web3Dの最前線

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

脇田 玲

wakita@sfc.keio.ac.jp

■Web3Dの復活

2000年に入ってから、Web3Dの復活を感じさせる動向を目にすることが多い。コンピュータ関係の雑誌ではWeb3D関連の連載が掲載され、ACM (Association for Computing Machinery, 米国計算機学会) のSIGGRAPHをはじめとするCG (Computer Graphics) の会議ではWeb3D関連技術の発表が大きな注目を集めている。また、近年急速に発展しているEC (E-Commerce, 電子商取引) でもさまざまな分野で3Dソリューションが展開されている。まさに、「Web3Dの復活」である。

その一方で、「Web3DはVRMLとどう違うの?」という質問を耳にすることがある。VRML (Virtual Reality Modeling Language) とはWWW上で3DCG (3 Dimensional Computer Graphics) を表示するための最も一般的な記述言語のことであり、1995年頃から普及している。VRMLの普及を図っているVRML

Consortiumが1998年にWeb3D Consortiumと名称変更したことからWeb3Dという言葉が使われるようになった。つまり、Web3Dとはインターネット上で3DCGを扱う技術のことであり、VRMLはWeb3Dの1技術であるといえる。

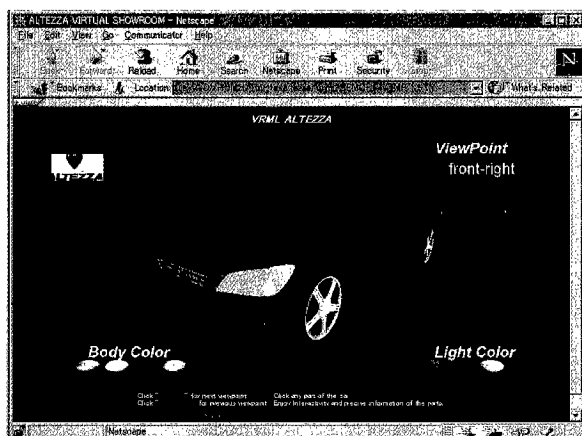
このような質問が現れる背景には、近年注目を集めている新しいWeb3D技術の進歩が非常に早く、その全貌をとらえにくいことがあげられる。図-1をご覧ください。(a)はVRMLにより表現された自動車のコンテンツ、(b)は近年注目を集めているWeb3Dの新技术であるXVL (eXtensible Virtual-world description Language) により表現された自動車コンテンツである。2つの表現力の差は明白であり、新しいWeb3D技術のECをはじめとするさまざまなビジネス分野における実用の可能性を感じさせる。本稿では、近年注目を集めている新しいWeb3D技術について、基礎技術、標準化動向などの話題について解説する。

■Web3D普及の背景と標準化動向

■VRML

世の中にはじめに登場したWeb3Dは、1995年に発表されたVRML1.0であった。VRML1.0はMark Pesceが発表したLabyrinthというWWW上の3Dウォークスルー (3D仮想空間を歩き回る) システムと、David Laggettが発表したWWW上の3Dフォーマット標準言語案のVirtual Reality Markup Languageが元となっている^{☆1}。実際に発表されたVRML1.0は、SGI社の提案するOpen Inventorのファイルフォーマットをベースにしており、WWWブラウザ上で静的な3D空間をウォークスルーすることが可能であった。また、ある3D空間から別の3D空間へジャンプするWWWアンカー機能がサポートされており、漫画「ドラえもん」に登場する「どこでもドア」がインターネット上の仮想世界で実現されていたのである。VRML1.0は瞬間に

^{☆1} これらのアイデアはともに、スイスのジュネーブで開催された第1回WWW会議で発表されている。



(a) 従来のWeb3D技術であったVRML



(b) 新しいWeb3D技術のXVL

図-1 VRMLとXVLで表現された自動車モデルの比較

世界中から注目を集めるようになり、計算機関連の雑誌で取り上げられたり、3DCG関連の学会でワークショップが開催されるまでに至る。その一方で、静的な世界をただウォークスルーするだけの無味乾燥な仮想世界に対して、不満の声も聞かれるようになっていった。

これらの経緯を受けて、アニメーションをサポートしたVRML2.0が1996年に発表される^{☆2}。アニメーションに加えて、スクリプト言語によるプログラミング機能、独自ノード作成機能なども新たにサポートされた。VRML2.0はWWWブラウザ上で手軽に3Dアニメーションが実現でき、またISOの標準規格としても認定された^{☆3}ために、研究教育機関のみならず、企業にまで普及する。これにより、Web3Dコンテンツが娯楽、産業、教育を中心に世の中に普及し始めたのである。

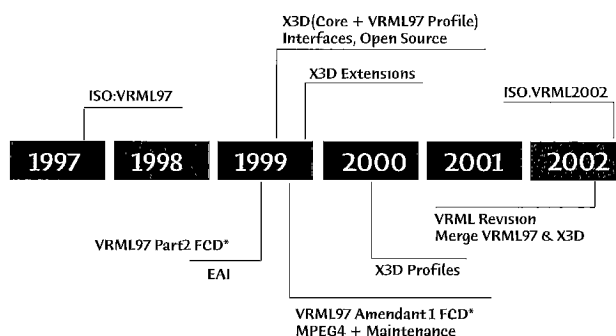
■X3D

そして現在、Web3D Consortiumは次世代のWeb3D標準言語としてX3D (eXtensible 3D) の仕様決定を進めている。X3DはVRMLをXML (eXtensible Markup Language) によって記述したものと考えてよいで

☆2 動きが加わったことによりMoving Worldと呼ばれている。

☆3 VRML97, ISO/IEC 14772-1:1997。

Web3D ISO Roadmap



(Web3D ConsortiumのWWWサイトより抜粋 <http://www.web3d.org>)

図-2 VRMLのISO標準化ロードマップ

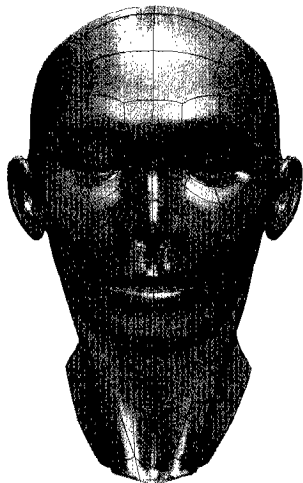
あろう。XMLはHTMLのような厳密な定義を持つタグ言語ではなく、それらのタグ言語を定義するためのメタ言語である。拡張性に優れており、2次元画像をはじめとするさまざまな種類のデータをXMLという1つの枠組みの中で構造化し、一括して扱うことができる。これらの特徴のために、ECを実現するためのWWW標準としてW3C (World Wide Web Consortium) でも仕様設計が進められている。VRMLをXML化したX3Dは拡張性に富み、ユーザの独自属性を含む言語体系を作り出すことができる。また、2Dベクトル表現の標準となったSVG (Scalable Vector Graphics) などの

XMLベースのデータと同一の枠組みの中で扱うことが可能になるのである。現在の段階では、VRML97の保持している機能から最低限度の機能を抜き出したCore Profileという草案が決定している。Web3D Consortiumでは2002年にX3DをVRML2002としてISOに国際標準として提案することを予定している。

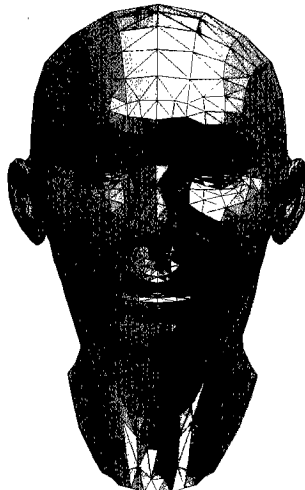
■VRMLの敗因

ISO標準化にもかかわらず、VRMLはビジネスとしては成功しなかった。一般には以下の4つが原因とされている。

1. 膨大なデータサイズ
2. 表現能力の低さ



(a) 自由曲面モデル



(b) ポリゴンメッシュモデル

図-3 自由曲面とポリゴンメッシュ

3. Macintosh版の開発の遅れ

4. VRML Consortiumの体質

第1の原因はVRMLが採用している形状表現がポリゴンメッシュであることに起因する。ポリゴンメッシュとは多角形平面(ポリゴン)の集まりによって形状を表現する手法である(図-3(b))。ポリゴンメッシュはデータが単純であるために扱いやすく、レンダリングも高速に行うことが可能である。その一方で、データサイズが膨大になるという問題がある。一般的なCAD/CGシステムで作成した3Dデータは自由曲面というパラメトリックな表現式によって表現されている(図-3(a))が、このデータをポリゴンメッシュに変換するとデータ量が10MBを超えることが珍しくない。このような膨大なデータを当時の貧弱な電話回線で配信すると、どれだけの時間がかかるであろうか? 当時の市場はWeb3Dにそれほどまで付加価値を見い出してはいなかったのである。

第2の原因はレンダリング技術の低さとして言い換えることができる。VRMLでは、フラットシェーディングとグーロー手法によるスムーズシェーディング、ピクセルとイメージによるテクスチャマッピング

がサポートされている。一方で、物体表面への写り込みを表現するリフレクションマッピングや、表面の凹凸を表現するバンプマッピング、擬似的に複雑な光源モデルを表現するライトマッピングなどはサポートされていない。ハリウッド映画の最新CG技術を見慣れているユーザにとって、このレベルのレンダリングはどうしても稚拙なものに見えてしまうのである。

第3の原因であるが、WWWコンテンツを作成している大半のクリエイターはMacintoshを愛用している。この現象は日本に限らずアメリカでも同様である。WWWブラウザのプラグインソフト開発は圧倒的なシェアを誇っているWindows版を中心に進められ、Macintosh版の開発が終了したのは、すでにVRMLが下火になってからであった。結果、Web3Dコンテンツを作成するクリエイターが不足し、コンテンツ流通が進まなかったのである。

第4の原因は、VRMLの普及促進機構であるVRML Consortiumが非営利団体によるボランティア運営であったためであるといわれている。VRML2.0はVRML97としてISOの国際標準として認定されたが、当時

のVRML Consortiumは標準化を重視するがあまり、VRMLに企業色がつくのを嫌ったというのだ。Adobe社のPostScriptのように、ある企業が営利目的で普及させない限り、大幅な普及には至らないというのが一般的な解釈のようである。

■ Web3D復活の社会的、技術的背景

VRMLの普及は失敗に終わったが、近年状況が変わりつつある。PCのCPU性能が飛躍的に向上し、家庭用PCでも3DCGを手軽に扱うことが可能になりつつある。このような現状の中で、CPUメーカーのIntel社がWeb3D事業に参入し、自社CPUをピーアールするためにWeb3Dベンダのバックアップを始めたのである。またECが活気を帯びている今日、3Dにより製品説明をすることの有効性が再び評価されている。2D画像を用いた商品説明では決まったアングルでしか商品を見ることができないが、3Dであればユーザの好きなアングルから商品を見ることがもちろん、実際の機能まで擬似的に体験することができるのである。

またそれと同時に、技術が大きく進歩している。自由曲面を利用することでデータサイズを約100分の1に圧縮する技術やインタラクティブなレスポンスで2次元画像顔負けのレンダリングを実現する技術が台頭してきたのである。これらの社会的、技術的動向を受けて、Web3Dは現在最も注目を集める技術の1つとなっている。

■ Web3Dの最新技術動向

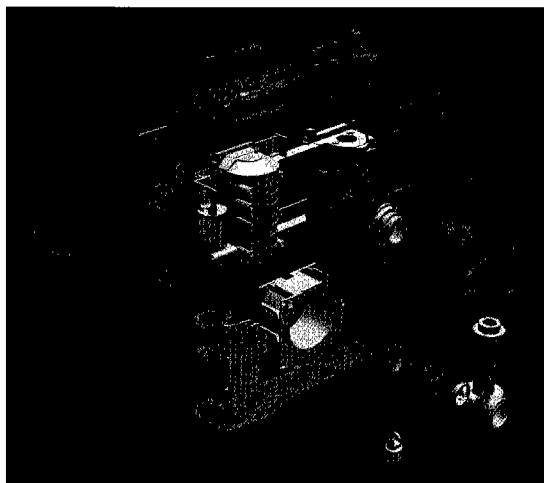
それでは、再び注目を集めるに至らした最新Web3D技術とはどのようなものなのだろうか? 本章で

は近年の最新技術動向の中から代表的な技術である、曲面表現、レンダリング、ストリーミングなどについて解説する。

■曲面表現

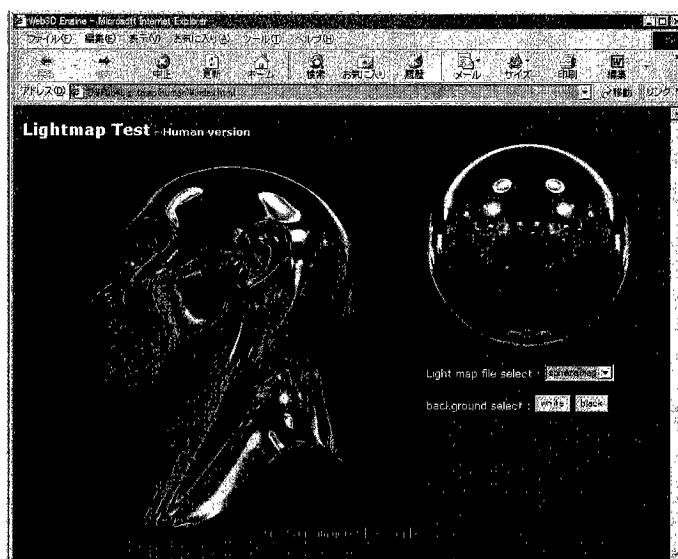
NURBS (Non-Uniform Rational B-spline Surface) などに代表される自由曲面を扱うことで高品質で軽量のデータ表現を実現させる技術が登場している。VRMLにおいては、曲面モデリングされた形状であってもポリゴンメッシュに分割近似したデータを扱う必要があったため、精度の低下とデータサイズの増加を避けることは困難であった。図-3に自由曲面とそれを分割近似したポリゴンメッシュを示す。これに対し、自由曲面を扱うことにより、少ないデータサイズで高品質な表現を実現することができる。自由曲面はレンダリングする際にポリゴンメッシュに分割する必要があるが、その時の分割数を変化させることで詳細度の制御 (Level of Details, LOD) が可能になる。データを処理するPCが低速であったり、視点がモデルから離れた座標にある場合には分割数を少なくすることで効率的にデータを扱うことが可能になる。

また製造業などの品質を重視する分野での応用も期待できる。CAD (Computer Aided Design) システムによってモデリングされたデータはトリム曲面と呼ばれる特殊な表現を含み、非常に精密かつ複雑である。このデータをそのままWeb3Dデータにエンコーディングすることでデータの劣化とファイルサイズの増加を防ぐことができる。データは高速にネット転送することが可能であり、受信後のCAD/CAMシステムでの再加工も可能になる。図-4にCADデータから作成されたWeb3Dデータを示す。このデータでは、データサイズが175KBとCADデータ



データサイズが175KBと軽量でありながら、 $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{mm}$ の精度を確保することができる。

図-4 曲面データによって表現された3Dモデル



右がマッピングに使用する2次元画像データ、左がマッピングを施した3Dモデル。

図-5 リフレクションマッピング

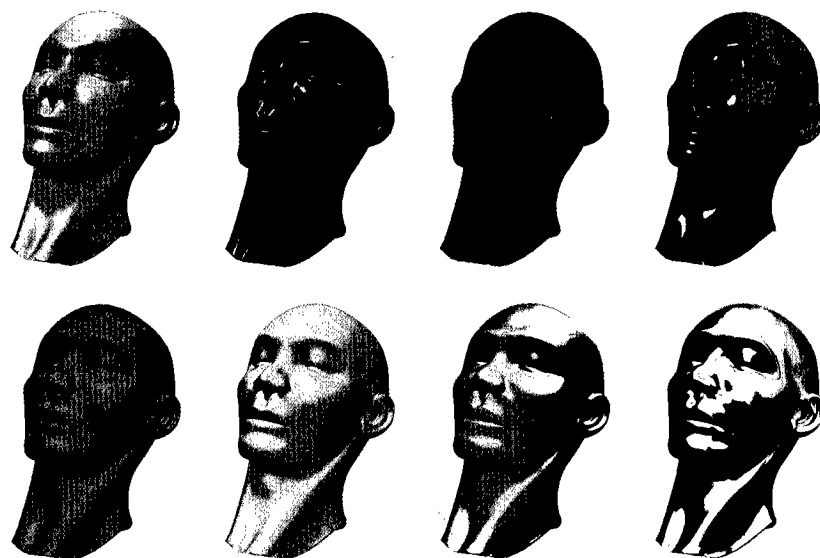
にしては非常に軽量でありながら、 $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{mm}$ の精度を確保することができる。インターネットを利用した事業展開が困難であった分野でのWeb3D利用が可能になったのである。

■レンダリング

新しいWeb3D技術のもう1つの特徴はレンダリング能力の高さであろう。VRMLがUV座標値指定によるテクスチャマッピングのみをサポートしていたのに比べて、新興Web3D技術の多くでは多彩なマッ

ピング表現をサポートすることで非常に表現力の高いレンダリングを可能にしている。

リフレクションマッピング (Reflection Mapping) はその代表的なものである。このマッピング手法は球面マッピング、環境マッピングなどとも呼ばれる手法であり、金属球に周りの風景が写りこんでいるような丸い画像を、3D形状に対して球状にマッピングすることで実現されている。3DCGによる表現能力の可能性を世の中に知らしめたハリウッド映画「ターミネーター2」に登場



擬似的に複雑なライティングモデルによるレンダリングを可能にする (モデル提供：大平和広氏)。

図-6 ライトマッピング

する液体金属状の悪者キャラクターを想像していただきたい。このリフレクションマッピングは多くのインタラクティブなグラフィクスライブラリにおいて標準機能として提供されているため、比較的サポートしやすい機能である。その一方で非常に表現力が高く、インタラクティブな3DCGの表現能力の低さを示す時によく使われるCartoonic (アニメのような) なアウトプットを避けることができる。図-5にリフレクションマッピングを実現しているWeb3Dコンテンツを示す。

リフレクションマッピングを応用することでさらに効果的な表現を実現することができる。たとえば、フォンシェーディングされた球の画像を球面マッピングすれば、擬似的なフォンシェーディングを再現することができる。また、ハイライトが2つある画像をマッピングすれば擬似的に2つの光源を反映したようなレンダリングをインタラクティブに実現することができるのである。この手法は一般にライトマッピング (Light Mapping) と呼ばれており、長い時間をかけて正確な光源計算に

より作成されたレンダリング画像に迫る精度を持っている。図-6にライトマッピングの例を示す。これらのサンプルはすべてリアルタイムに動作させることが可能である。

■ストリーミングと多重解像度表現

2次元の動画技術においてはストリーミングは非常に重要な役割を果たす。この技術は差分情報を活用することで限られた帯域幅の中でも効率的なデータ転送を実現する技術のことである。3DCGにおいても差分情報を用いたストリーミングを実現することが可能である。この技術は多重解像度表現 (Multiresolution Representation) という技術と密接な関係を持っている。多重解像度表現は3D形状を、単純な概形モデルとそのモデルに精度を付加していくための差分情報のセットとして保存する表現手法である。概形モデルが最も解像度の低いデータとして扱われ、差分情報を付加していくたびにモデルの精度が上がっていくという仕組みを持っている。これにより、視点情報に応じた詳細度の制御が可

能であり、LOD (Level of Details) 手法として有用である。多重解像度表現をストリーミング手法として利用する際には、最初に概形モデルを転送する。その後、差分情報を順次送信することによって、ユーザは3D形状が次第に精度を増していく様子をみることができる。2次元画像のProgressive JPEGやProgressive GIFの3D版と考えていただければよいであろう。WWWの世界には「8秒の法則」というものが存在するという。あるサイトを閲覧している際に8秒間経っても画面に変化が現れない場合には、ユーザは他のサイトへ移動してしまうというのである。3Dデータのストリーミングはデータサイズの大きなモデルでもはじめに概形を表示することができるために、ユーザのストレスを軽減することができるのである。多重解像度表現については、情報処理2000年10月号に掲載された慶應義塾大学の金井先生の特集記事を参照されたい☆4。

■アニメーション、オーサリング、JAVA

VRMLを使ったコンテンツを作成する際には、テキストファイルを編集することでアニメーションの付加やイベント制御をする必要があった。この作業は非常に骨の折れる作業であり、また職人的技術が必要であった。近年のWeb3Dソフトには無償で非常に高性能なオーサリングツールを提供するものが存在する。イベントの付加やアニメーションまでもがすべてマウス操作によるビジュアルプログラミングによって実現されている。またアニメーションも大きく進歩し、ボーンによる軸変形アニメーションをサポートするものやキーフレームデータをストリーミング転送する技術も現れている。

Web3Dを体験するにはソフトウェアをインストールする必要がある。3DCGのソフトウェアはファイルサイズが大きく、インストール作業は非常にうっとうしいものである。この問題をJAVAを使って解決する技術が多く存在する。JAVA言語によりソフトウェアを開発することでインストール作業をせずに手軽に3DCGが楽しめるのである。またJAVAによって開発されたソフトウェアのファイルサイズは非常に小さく50KBを下回るものも存在する。

■Web3Dについてもっと詳しく知りたい人へ

本稿では、現在注目を集めているWeb3D技術について、その背景と基礎技術の解説を行った。この分野の技術進歩は非常に早く、インタラクティブ3DCGのほとんどの技術は、Web3Dに応用されることになるであろう。VRMLの失敗を繰り返さないためには、以下の2点を抑えることが重要になると考えられる。第1に、コンテンツ作成環境の確立である。WWWクリエイターの多くが使用しているMacintosh環境でのコンテンツ作成環境が整わない限り、3DをWWWコンテンツとして扱うことのへ気運は高まらないであろう。また、一部の職人的技術を保持する人だけが作成できるような技術的なハードルを取り払う、安価で使いやすいツールの出現が必須である。第2に、(これはECビジネスの根幹の問題としても取り上げることができるが)どのような方法で課金をするかということが重要になる。現在多くのWeb3Dベンダはパッケージを販売することで利益をあげようとはしていない。ソフトウェア

ベンダ	技術名	URL/特徴
ラティス・テクノロジー	XVL	http://www.lattice.co.jp 自由曲面。データを100分の1に圧縮。
Viewpoint	Metastream	http://www.viewpoint.com ライトマッピング、ストリーミング。
Cycore	Cult3D	http://www.cult3d.com オーサリングツールを無償提供。
Pulse Entertainment	Pulse3D	http://www.pulse3d.com ボーンによるアニメーション。
Shout Interactive	Shout3D	http://www.shout3d.com JAVAで動作。インストール不要。
Sumea	Sumea	http://www.sumea.com JAVAで動作。高品質なパーティクル。
Blaxxun Interactive	Blaxxun3D	http://www.blaxxun.com JAVA。マルチユーザ環境。
Superscape	Sev	http://www.superscape.com 細分割曲面。マルチデスクチャ。
TGS	Zap3D	http://www.tgs.com/zap/ 自由曲面 (NURBS)。
カーネギーメロン大学	Alice	http://www.alice.org 直感的なスクリプトアニメーション。
ソニー	Community Place	http://vs.sony.co.jp VRML97準拠。マルチユーザ環境。

表-1 Web3Dテクノロジー一覧

アはフリーで提供し、自社技術を使用したコンテンツをWWW上に公開するたびに課金をするのである。このビジネスモデルが成功するかは分からないが、効果的に課金のできるWeb3Dならではのビジネスモデルを作り出す必要がある。

Web3D分野の研究動向を知るには、SIGGRAPHが主催しているWeb3D Conferenceの論文集をご覧になることをお勧めする。また、最新の技術に触れてみるのが一番効果的であると考え、筆者が把握しているWeb3D技術のWWWサイトを表-1に示す。「百聞は一見にしかず」である。

(平成12年12月4日受付)

☆4 41巻10号, 情報処理, 2000年10月, 特集: 3Dデジタルコンテンツのためのモデリング技術, 2. 表示・編集・圧縮のための多重解像度表現技術。