



2012年12月で絶筆となった
倉地紀子著「CGコンテンツ」
本誌 月刊FDIで2022年4月蘇る!!



本誌「月刊FDI」にて、2002年4月号から2012年12月号まで連載していた倉地紀子著「CGコンテンツ」129編(564頁)は、連載開始から20年、また11年に亘った連載が絶筆となってから本年度で10年目の節目となりました。これを基に2022年4月号(272号)から本文に再掲載し、全記事内容を当時のままに、2巻にまとめて発行することと致しました。

なお、当誌にて掲載しております写真図版等はモノクロ印刷となっておりますが、当時は全頁カラー印刷でした。なお、その他の掲載内容は、当時のままといたしましたので、技術面での記載内容などが現状と異なる場合がありますのでご了承ください。

※フッターに掲載年月を表記してあります。

FDI2013ANNEXPART.1

CGコンテンツ 総集編(PART1)

2002.04「モンスターズ・インク：テクノロジー・イン・デプス」-アーティストィックなりアリズムをつくりだした影の主役たち

～2008.03 3DCG映画の成熟 -映画「ビー・ムービー」のCG技術

72編 285頁 頒価5,000円(消費税込み)

FDI2013ANNEXPART.2

CGコンテンツ 総集編(PART2)

2008.04「IMAGINA2008」(前編) - イマジナワードとR&Dセッション-

～2012.12「フランケンウィニー」- ストップモーション・アニメーションの醍醐味を支えたVFX(絶筆)

57編 279頁 頒価5,000円(消費税込み)

※書店及びネットでは販売しておりません。お申し込みは、お問い合わせは、E-mail : editor@uni-w.com 月刊FDI編集部までご連絡ください。



『AVATAR』

倉地 紀子

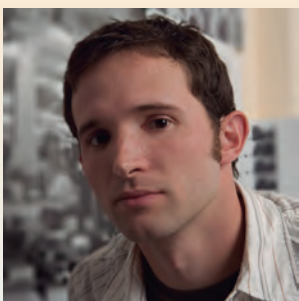
ジェームズ・キャメロンの新作『AVATAR』がついにそのベールを脱いだ。これまでの実写映画とは全く違う異次元の世界観と驚愕のリアリズム。それを支えたのは、映画プロジェクトという常識を大きく超えた高度な技術開発だった。ここでは、これらの技術的アイデアの数々を、CG制作を担当した WETA Digital 社とのインタビューを通して紹介する。



Eric Saindon:
VFX Supervisor (Weta Digital)



Guy Williams:
VFX Supervisor (Weta Digital)



Dan Lemmon:
VFX Supervisor (Weta Digital)



Andy Jones:
Animation Director (Weta Digital)



Joe Letteri:
Senior VFX Supervisor (Weta Digital)

Wayne Stables:
VFX Supervisor (Weta Digital)

< 『AVATAR』 における CG とは >

“実写映画というよりも 3DCG 映画の進化版”

『AVATAR』は、実写映画における立体3Dの真価を問う作品として世界中の注目を浴びてきた。しかし、WETA Digital が担当した 1800 を超えるショットでは、キャラクターから環境にいたるまで、そのほとんどの要素が CG で作成されている。これまでの映画 VFX では、いかに CG ヘビーなものであれ、まずは俳優の演技があり撮影セットがあり、それを補う形で CG が導入されていた。しかし『AVATAR』の場合にはまったく逆で、主役にあたるキャラクターやメインステージにあたる環境がすべて CG で作成されており、わずかながらそれを補う形で実写の要素が使われている。いってみれば、それは実写映画の VFX というよりも 3DCG 映画の制作に近かったのだ。しかし、これまでの 3DCG 映画はアニメーション映画の路線を継承しており、様式化という名のもとでそれほどフォトリアリスティックな要素は必要としてこなかった。これに対して『AVATAR』は、“たてまえ”は実写映画であり、実際に実写の要素も入ってくる。ゆえに、観客

に彼らが見ているものが実写だと信じ込ませるに足る精緻なフォトリアリズムが絶対条件となっていた。CG を制作する側からすれば、それは“実写映画というよりも 3DCG 映画の進化版”だったのだ。“ディテールへのこだわりと物理的な方法論”

究極のリアリズムを達成するためにキャメロン監督は、キャラクターから環境にいたるまで、徹底してそのディテールにこだわったという。これまで映画で用いられる CG では、「大雑把な見た目がよければそれでよし。ディテールにはそれほどこだわらない」という方向性が常識とされてきた。しかし『AVATAR』でキャメロン監督が選んだ方法論はまったくこの常識に逆行するものだった。キャラクターであれば皮膚の皺の一本一本まで、環境であれば木々の葉の一枚一枚にいたるまで、その細部のリアリティに妥協は許されなかった。もちろん今回の映画が立体3Dという表現形式であることもこの方向性に拍車をかけている。「3D ではこれまでのような“ごまかし”が通用しない」というのが WETA のスーパーバイザーらの判断だった。そ



れゆえに、今回はキャラクターや環境のあらゆる要素に対して、高度なシミュレーション技術が高精度で適用されている。映画のリアリズムに物理的な方法論は必要ないという常識さえ今回は覆されているのだ。もちろん、ディテールにこだわれば、それだけデータ量も多くなりがちだ。ただでさえ、今回は立体3Dということで、(左目と右目の両方でレンダリングするため) データ量は2倍以上に膨れ上がる。WETAに許されていたディスク・スペースの上限は2.5 Petabytes。ディテールにこだわりぬいた表現方法ゆえに膨大なデータをこの容量にいかにか収めるかということも大きな技術的チャレンジとなった。

“リアルタイム技術の活躍”

『AVATAR』におけるCG技術の最大の特徴は、リアルタイム技術の活躍だといえる。その直接の要因は、キャメロン監督が俳優を用いた撮影と同じ感覚でCGキャラクターの演出をおこなうことを望んだからだった。もちろん、これまでもそういった監督の要望ゆえに、監督が演出した役者の演技をモーションキャプチャーしてCG

キャラクターにあてがうということはおこなわれてきた。しかし、今回監督は、ダミーの役者の演技を確認しながら演出を進めるのではなく、最終的に画面に登場するCGキャラクターの演技をリアルタイムに確認しながら演出を進めることを望んでいた。しかも監督の志はなかなか高く、キャラクター単体ではなく、環境やライティングなども含めてその演技をリアルタイムに確認できることを切望していたのだそうだ。それゆえに、今回のプロジェクトではリアルタイム技術の開発に大きな焦点が当てられた。そして、この方向性で開発された技術は、プリプロセスだけでなく、最終映像の制作を効率化するためにもうまく生かされている。近年の映画VFXでは、複雑なライティングやシミュレーションの試行錯誤を効率化するためにインタラクティブ技術の開発には光が当てられるようになってきたものの、リアルタイム技術に関しては未だに「映画制作とは無縁」という認識が強かった。『AVATAR』はこの常識をも覆したといえる。

＜リアルタイム・フェイシャル・モーションキャプチャー＞

『AVATAR』で開発されたあらゆる技術の中でも、最も大規模なR&Dを必要とし、またWETA自身が最も画期的な技術だと認識して取り組んだのが、リアルタイムなフェイシャル・モーションキャプチャー技術の開発だった。前述したように、これはキャメロン監督が最も強く要望していたリアルタイムなCGシーンの演出をサポートするためにも不可欠だったといえる。

WETAは『キング・コング』で画期的なフェイシャル・モーションキャプチャー・システムを開発し、以後このシステムに様々な改良を加えてきた。しかし、今回は“リアルタイム”という要請に答えるべく全く新しいシステムが開発されることになった。新たな特徴としては、まずこれまでの光学式のモーションキャプチャー・デバイスを用いずに、イメージベーストのキャプチャー方式に切り変えたということだった。この方式では、顔の表情筋に沿ってグリーンペイントドットを付着し、このド



リアルタイム・フェイシャル・モーションキャプチャーのパイプラインは下記のとおり。
 (1) ヘルメット・カメラを用いて顔のグリーンドットを撮影
 (2) (1)のグリーンドットの変位をAU データーの線形結合に変換
 (3) (2)のデーターを Motion Builder 用のデーターに変換して Motion Builder にデーターを送る。

(4) Motion Builder は (3) のデーターが示す顔の各部分の変位を読み取って、あらかじめ与えられた顔の 3D モデルを彫り込み、表情を表す 3D モデルデーターを算出する。
 (5) (4) の 3D モデルを任意のカメラポジションからリアルタイム・レンダリングする。



キャラクターの表情に説得力のあるリアリズムを与えるために、非常に重要視されたのが、目の動きだった。このため、キャプチャーのグリーンドットはまぶたにも設置されていた。一番要となる「眼球」の動に関しては、グリーンドットをペイントすることこそ不可能だったが、撮影画像の中に写っている眼球をトラックすることによ

て、ある程度の精度を保ったモーション・データーを復元することができた。光学式のマーカーを使った手法と比較して、イメージベーストのキャプチャー方法は、このようにキャプチャーの自由度が高いところが大きな利点となっていた。

ットを撮影した映像をトラックして動きをキャプチャーする。表情のニュアンスを掴み取るには、この方式が向いているという判断だったのだ。

そして、撮影には「ヘルメット・カメラ (helmet camera)」というものが用いられた。ヘルメット・カメラは口のあたりに取り付けられる 1 インチほどの小さなデバイスだ。ヘルメット本体には小さなレンズが一つ取り付けられている。レンズで撮影された上記のグリーンドットのデーターはリアルタイムにデーターを解析するソフトウェアに送られる。このソフトウェアは WETA が自社開発したもので、キャプチャーデーターを表情筋に沿ったアクション・ユニット (AU) という基本表情データーに分解する。AU は眉、頬、口といった顔の各部位に設定されており、その動きの特徴を表している。眉であれば、「内側が上がっている」「外側が上がっている」「全体が持ち上がっている」といったような動きが AU として設定されている。キャプチャーデーターは、これらの AU に重み付けをして足し合わせたものに変換される。キ

ャプチャーデーターをそのまま用いるよりも、このように AU を用いた表現形式に変換した方が、表情の特徴をうまく抽出できる。この変換ソフトは、もともとは『キング・コング』でマーク・サガー (Mark Sagar) によって開発されたものだったが、今回はリアルタイムに対応できるよう改善された。

上記のソフトのアウトプットは、各 AU に対する重みの集合だ。このデーターはさらに Motion Builder 用のデーターに変換される。イメージベーストのモーションキャプチャーというと、一般的には最近ハリウッドでも普及しはじめたステレオ・リコンストラクション (複数の異なった視点から撮影された複数の画像をもちいて 3D のポーズを復元する) の技術を指す。しかしステレオ・リコンストラクションによる 3D 情報の算出をリアルタイムに行うことは非常に難しい。ゆえに、今回は顔の各部分の変位のみを記録した 2D データーを Motion Builder に送り込み、あらかじめ用意しておいた顔の 3D モデル

(この 3D モデルの情報もリアルタイム

処理に先立って Motion Builder に送っておく) をこの変位データーを用いて「彫る」作業は、Motion Builder 内部でリアルタイムにおこなうという方法がとられた。その結果、アニメーションの各タイムステップで、表情を彫りこまれた顔の 3D モデルがリアルタイムにアウトプットされる。これを任意のカメラポジションからリアルタイム・レンダリングすることによって、監督は任意のカメラアングルで捉えた CG キャラクターの演技をリアルタイムに確認することができる。

今回上記のパイプラインは、監督が演技を試行錯誤するプリプロセスだけではなく、最終映像のアニメーションを作成するためにも用いられた。この場合にはリアルタイムという要素は必要とされないため、グリーンドットの密度や解析の精度を上げたものが適用された。もっとも、これだけでは、表情のディテールを復元することは難しいため、ディテールの復元においては、別途 HD で役者の演技を複数の視点から撮影した画像も準備された。ここらはリファレンスとしてだけでなく、ディテールの



『AVATAR』の変形シミュレーションモデルでは、骨、筋肉、脂肪などが“腱”で結ばれており、その周りを包帯のような“膜”で覆って、さらにその外部を皮膚の層が包んでいる。筋肉・脂肪・皮膚の変形にはFEMが適用された。“腱”は筋肉や脂肪が互いに干渉する様子を、“膜”は皮膚が脂肪や筋肉の上をスライドする様子をシミュレートするために活用された。

筋肉に関しては、“肉”の塊(の周りを無数の“筋”(ファイバー)が覆っている。筋肉には干渉し合うレベルが等高線のように設定されており、その設定をもとにして、肉を覆っているファイバーが肉の塊同士を引っ張り合うようなメカニズムになっていたという。変形シミュレーションモデルは、キャラクターの種類やその

動きの特長によって異なっており、トータルで1600種類もの変形シミュレーションモデルが構築されたという。上記の変形シミュレーションモデルの効果も最も顕著に現れているのが、Thanatorというクリーチャーだという。Jake Avatar, Neytiri, Tusteyなどのキャラクターに関しても、上記の変形シミュレーションモデルが適用された。

作成に必要な3D情報を復元するためにも用いられたようだ。リアルタイムでの実装という点ははなにより画期的であったわけだが、複数のイメージベーストの技法をその目的に合わせてフレキシブルに適用できるようになっていた点も今回のシステムの利点といえよう。

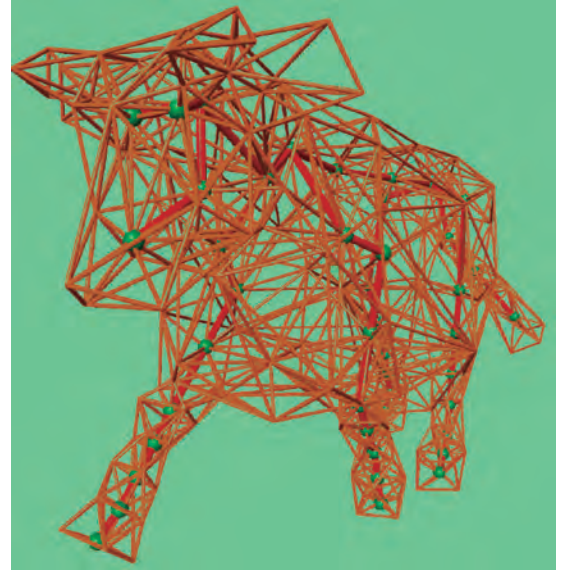
<変形シミュレーション>

前述したように、『AVATAR』では、これまでの映画プロジェクトとは比較にならないほどのディテールへのこだわりが大きな特徴となっていた。それを象徴するものとして、キャラクターの身体の動きのディテールをフォトリアルに表現するために新たに開発された変形シミュレーション技術がある。

一言に“変形シミュレーション”といっても、その精度には様々なレベルがある。現在映画VFXや3DCG映画で一般的に用いられているのは、布や毛のシミュレーションに用いられているのと同様のマス・スプリング・モデルだ。この変形モデルは、物体の3Dモデルを構成する頂点同士をバネで結び、そのバネの伸び縮みを計算して物体の変形を行う。この方法はあまり厚みがない物体の変形には向いているが、身体の筋肉のように内部がぎっしりと詰まったポリウームのある部位を変形するには向いていない。そのようなポリウームメトリックな物体の変形を物理的に正確におこなう手段としては、有限要素法(FEM: Finite Element Method)という手法がよく知られている。この方法では、物体内部も含めて物体全体を同じ大きさの四面体や六面体に細かく分割し、これらの多面体の各頂点において多面体同士の間での力の受け渡しを物理方程式で記述する。こうして作成された連立微分方程式を解くことによって、各頂点の変位が算出されて変形が作りだされる。この方法は最も物理的に正確な変

形シミュレーションといえるのだが、複雑な方程式を解く工程を含むだけに計算負荷が非常に重い。それゆえに、映画VFXなどでは、たとえば恐竜の太腿などのように、この変形シミュレーションが特別に威力を発揮すると予測できるようなごく少数のシーンに限って用いられてきた。しかし『AVATAR』では、ほとんどのメインキャラクターに対して、600ショットを超えるシーンでFEMが適用された。映画VFXの歴史でこれだけ大規模にFEMが用いられたのは初めてのことだといえる。

そして、特記すべきはこの技術が、これまでのように筋肉の塊の動きを大雑把に表現するという目的ではなく、キャラクターのディテールの表現のために用いられたということだ。そのためには身体の内部の異なった器官やこれらの器官と伝わる力を正確に記述できるようなレイヤー構造のシミュレーションモデルが作成された。このモデルでは、骨、筋肉、脂肪などの器官が腱で結ばれており、その周りを包帯のようなもので覆い、この包帯の外部をさらに皮膚の層が包んでいる。筋肉・脂肪・皮膚の変形にはFEMを適用し、同じ器官同士(たとえば筋肉同士)、異なった器官同士(たとえば筋肉と脂肪)の干渉も、物理的に正確に計算されている(このために“腱”にあたる構造が活躍している)。包帯にあたる構造は、皮膚が脂肪や筋肉の上をスライドする様子をシミュレートするために活用されたそうだ。また、FEMそのものに関しても、筋肉・脂肪・皮膚のそれぞれにおいて、その変形の特徴を表すことができるような独自の設定が施されていた。これによって、ある器官の変形が他の器官に伝わってその器官の変形をつくりだしてゆく過程を非常に精緻にシミュレートできるようになり、一つのレイヤーだけに対してFEMを適用する方法では不可能だった動きのディテールをつくりだすことが可能となっ



有限要素法 (FEM: Finite Element Method)
有限要素法では、物体のポリウーム全体を“エレメント”と呼ばれる多面体に細かく分割する。エレメントの各頂点はノードとよばれ、各ノードにおけるエレメント間の力の受け渡しを物理方程式で記述する。こうして作成された連立微分方程式を解くことによって、各ノードの変位が算出され、物理的に正確な3Dモデルの変形がおこなわれる。『AVATAR』では、エレメントとして四面体が用いられた。筋肉は平均して100ほどのエレメントに分割されていた。ディテールの表現に重要な皮膚の変形では、100万以上の細かいエレメントが用いられたそうだ。

た。今回開発された技術は、映画VFXにおける物理的に正確な変形技術の大きなハードルを、また一つ乗り越えたことを意味していえよう。

<レンダリング>

『AVATAR』で開発された画期的な技術として忘れてはならないのが、新しいコンセプトのグローバルイルミネーションの手法だ。2009年に入って、ハリウッド映画ではレイトレーシングをベースとしたグローバルイルミネーションの普及が著しい。究極のフォトリアリズムを追求した『AVATAR』でも極力レイトレーシングを活用する方向性がとられていた。

しかし、『AVATAR』ではレンダリングする物量が多量にも膨大であったため、モンテカルロ・レイトレーシングのように、純粋なレイトレーシングだけによってグローバルイルミネーションを実現することに

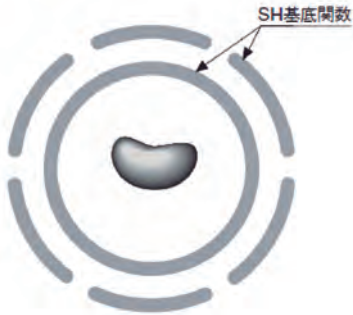


サブサーフェース・スキャタリング

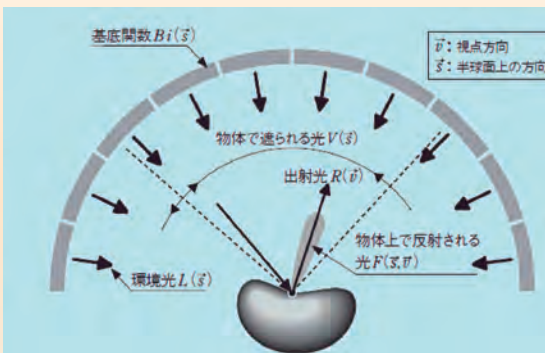
ブルーの肌の表現も、『AVATAR』における重要な技術的テーマの一つだった。表現のリアリズムの鍵となったのは2つの要素。一つ目の作業は、PRTの前計算で算出されたグローバルイルミネーションの効果を、レンダーマンのポイント・クラウド (point cloud) というラディスクッシュ機能を目的にした小さなポリゴンのサンプル点の集合に蓄えておくこと。2つ目は、2層のレイヤー構造に渡るサブサーフェース・スキャタリングの計算だ。後者に関しては、マルチレイヤーのサブサーフェース・スキャタリングを世界で最初にモデル化したCrag Donner氏が一時期 WETA に滞在して、2層の皮膚に巧く対応したサブサーフェース・

スキャタリング・モデルを構築。このシェーディングモデルでは、複雑な入力パラメーターをテキストで表すことができ、アーティストの操作性が極めて高くなっていった。一層のサブサーフェース・スキャタリングの入力パラメーターをテキストで表すことは数年前からかなり一般的になってきたが、2層のサブサーフェース・スキャタリングの入力パラメーターをテキストで表すことはまだまだハードルが高いと考えられている。その意味でも今回のサブサーフェース・スキャタリング・モデルの実用化は意義深かったといえる (Explained by Luca Facione)。

図 PRT



(a) PRT では、各周波数に対応する SH 基底関数を光源と考える。それぞれの SH 基底光源でライティングしてレンダリングした結果をすべて足し合わせたものが最終的なレンダリング結果となる。SH 基底光源は天空のあらゆる方向から入射する光をカバーしているため、グローバルイルミネーションの計算負荷を重くしている「あらゆる方向から飛来する光の効果を足し合わせる」という足し合わせの計算 (積分計算) を省くことができるという意味で効果的だ。ただし、SH 基底は周波数の低いものから優先的に選ばれてゆくと、キラキラした高周波数の光をうまく表すことができない。『AVATAR』では、高周波数の光はガウス基底を用いて分解し、この問題点に対処したそう



b) i 番目の SH 基底光源で物体を照らした場合のレンダリングを図示したものの。前計算で算出すべきは、SH 基底光源を発生した光がレンダリング点に到達するまでの光の挙動 V にあたる (ここでは、他の物体に遮られる様子だけを考察し、インターリフレクションなどの効果は省いている)。光源から入射するライトベクトル L はまず V で変換されてグローバルイルミネーションの効果を考慮して入射ライトベクトルに変換され、反射関数を SH 基底展開した F によって出射ライトベクトル R へと変換される。高周波数の場合には、 L および V がガウス基底で算出されているため、 F にガウス基底から SH 基底へとライトベクトルを変換する作用も含ませる必要があった。『AVATAR』において PRT を導入したのは、『キング・コング』で映画史上最初に毛の表現へ Marschner モデルを導入した Martin Hill 氏。新しいレンダリングモデルの映画への導入に対するあくなき戦いはまだまだ続きそうだ。

はやはり無理があると判断された。そこで、導入されたのが前計算の考え方をういたグローバルイルミネーションの手法だった。前計算の考え方をういたグローバルイルミネーションの手法としては、現在では数知れぬほど多種多様な方法が出てきているが、今回 WETA が新たに導入したのは、2002 年に発表された Pre-computed Radiance Transfer (PRT) というリアルタイム・グローバルイルミネーションの手法だった。この手法では、環境からの光を、球面調和関数 (SH 基底関数) というものを用いて、各周波数の領域に対応した光に分離する。環境からの光は、各 SH 基底関数に重みを付けて足し合わせたもので近似される (したがって、重みを一列に並べた“ライトベクトル”で環境からの光を表す)。従って、レンダリグでは各 SH 基底関数を光源と考え、各光源でシーンを照らしてレンダリングした結果に重みを付けて足し合わせたものが最終的なレンダリング結果となる。前計算では、各 SH 基底光源を発生した光がレンダリング点に到達するまでのグローバルな光の挙動 (他の物体表面にぶつかったり、遮られたりする様子) をレイトレーシングによって算出しておく。この前計算の結果を“行列 (トランスファー・マトリックス)”という形で記録しておくという点がこの手法の鍵で、これによって最終レンダリングでは“ライトベクトル”に前計算で得られた“行列”を掛け合わせるだけで、グローバルイルミネーションの効果を算出することができる。ベクトルと行列の掛け算は GPU 上でリアルタイム処理できるため、この手法はリアルタイム・

グローバルイルミネーションというカテゴリーに分類された。WETA がこの手法に着目したところには、やはりリアルタイム技術の開発に重点をおきはじめたということが大きく影響していることは確かだ。しかし『AVATAR』においては、監督が用いるリアルタイムのプリプロセスにはこのレンダリング手法は導入されず、もっぱら最終レンダリングにおけるグローバルイルミネーションの効率化をいう目的でこの手法が活用された。ただし、映画プロジェクトの最終レンダリングで用いるためには、本来リアルタイム・レンダリング向けに開発された PRT に想定されていた以上の、表現の自由度が不可欠となる。たとえば、本来の PRT は、環境からの光も物体表面での反射も低周波数であると仮定していた。しかしこの仮定のもとでは、ピカピカした光や物体表面の表現ができなくなってしまふ。『AVATAR』においてはこのような表現も必要とされた。そこで、SH 基底関数とは別に、高周波数の光を近似するための基底関数も併用された (具体的にはガウス基底が用いられた)。問題は、異なった基底を併用したグローバルイルミネーションの前計算に、どのようにして統一性を持たせるかということだが、これに関しては物体表面での反射の工程でつじつまを合わせていたようだ。反射の工程では、反射関数をやはり基底関数に分解して、入射した光を表すライトベクトルを反射した光を表すライトベクトルへと変換する行列を設定する。高周波数の光の場合には、この行列にガウス基底から SH 基底へ変換をおこなう要素を加えてお



くことが、上記の問題解決の鍵となっていたようだ。

PRTは2002年に発表されるやいなや、ゲームなどの分野でその実用化が大きく期待されてきたが、最大のボトルネックとなっていたのはレイトレーシングを用いた前計算の負荷の重さだった。『AVATAR』での使用例は、商業映像におけるPRTの初めての実用化にあたり、ハリウッド映画におけるレイトレーシングの急速な浸透がそれを後押ししたともいえる。今回は、リアルタイム・レンダリングの手段として用いられることはなかったが、将来的にはその方向性の展開も期待できそうだ。

これまで見てきたように、『AVATAR』では、映画史上“初めて”といえる高度なCG技術の導入が様々な形で試みられた。それが単なる試みに終わらず、映画の中の表現の真髄に直結している点が、『AVATAR』で用いられたCG技術の大きな特徴だったといえる。WETA自身も当初からそれを目指して研究開発を進めてきたわけだが、キャメロン監督自身にもそれらを用いて映画制作に一石を投じたいという想いがあったようだ。映画をつくりだす側とそれを技術的にサポートする側のフィロソフィーの一致が今回の大きな成功につながったといえ、それは映画史上にもCGの歴史の上にもくっきりとした鮮明な軌跡を残したといえそうだ。

Noriko Kurachi



『AVATAR』では、広大な環境をそのあらゆるディテールまでリアルに描き出すことも大きな課題となっていた。これらをすべて手作業でモデリングすることの負荷は重いため、自然物を自動生成する数々のプロシージャルなツールが開発された。Massiveを改良したものも草木の生成に用いられたという。もちろん、こうしてプログラムで作成されたモデルに、テクスチャなどを含めたアーティストの緻密な作業を加えられて、最終的な環境が完成した。PRTを用いたグローバルレイルミネーションのレンダ

リングも、環境のリアリズムを高めるために大きく貢献した。

PRTの場合には、いったんグローバルレイルミネーションの効果を前計算しておけば、物体表面の反射の特徴や環境からのライティングが変化した場合にも瞬時に対応できる。

ゆえに、今回の環境のように複雑なシーンにおいてそのライティングを試行錯誤する作業を大幅に効率化したという意味でもPRTの導入は大きな意味をもっていたという。