



新作映画 VFX (3)

倉地 紀子

2005 年末から 2006 年にかけて公開された映画の中でも、最新 CG 技術の粋を極めた VFX が導入されたのが、アカデミー賞監督ピーター・ジャクソンによる新作映画「キング・コング」だったといえる。

この映画は、1933 年に制作された「キング・コング」のリメイク版となっており、ピーター・ジャクソン監督は、オリジナル版が持つ世界観をそのまま残しながらも、新しいストーリーと新たな表現技術を取り入れて、現代にも通じる作品に仕上げることを目指したという。そして、この新たな表現技術という面で大きく貢献したのが、ニュージーランドの WETA DIGITAL 社によって開発された、高度な CG 技術の

数々だった。今回は、これらの CG 技術の概要を、スーパーバイザーや技術スタッフとのインタビューを交えて紹介する。

CG による環境や背景の復元

VFX スーパーバイザーのベン・スノウ氏は、映画「キング・コング」の中で、最も大きな役割を果たした CG 技術として、「背景の作成」「デジタルダブル（実写の俳優を CG で置き換える）」「キング・コングの作成」の 3 つを挙げている。

まず、背景の作成に関しては、物語の舞台となるニューヨークの街とスカル・アイランド（南洋の孤島）の風景が、ロケで

はなく CG で作成された。

スカル・アイランドの場合には、1933 年版の世界を彷彿とさせる、ロマンチックでミステリアスな雰囲気を作り出すことが求められた。このため、背景の形も、これを照らすライトの種類も、アーティスティックな視点から決定された。19 世紀の油絵にみられるような、絵画的な表情を作り出すことが重要視された。

これに対して、ニューヨークの街の場合には、より現実に近い写実性が求められた。そこで、まず、街を彩る様々な建物の形を作成するためのソフトウェアが

エンバイヤ・ステート・ビルディングの屋上のシーンでは、ヒロインや NY の街も CG で精緻に復元された © 2005 Universal Studio



開発された。このソフトウェアは、住宅・豪邸・店舗などといった、建物の属性を持ったキューブの集合を、一定領域に自動生成する。そして、これらの建物にどのような色や模様を与えるかということや、これらの建物をどのようなライトで照らすかということも、実際にニューヨークの街で撮影した写真をもとにして決定された。さらに、実際にブルーバックで俳優の演技を撮影する際には、このようにしてCGの世界で作り出されたライトの情報をもとにして、ライティングが行われたという。

デジタル・ダブル

デジタルダブルに関しては、ヒロインのアンや、スカル・アイランドに向かう船の船員、ニューヨークの劇場の観客などが、CGで作成された。中でも、キング・コングが最初にアンをエンパイア・ステート・ビルディングの頂上に降ろすシーンでは、カメラがアンに接近して、アンの顔や身体を大きく映し出す。このため、アンの顔や身体の色だけでなく、その質感も、CGによって正確に復元する必要があった。

CGでは、物体の質感を、ある方向から物体表面に当たった光のうちのどれだけがどの方向に反射するかということによって表わす。そして、こういった反射の特徴は、光の入射方向と反射方向を変数とする関数によって定義されている。このような関数は「反射モデル」と呼ばれる。同じ反射モデルでも、関数の係数を変えることによって、反射の特徴を微妙に調整できる。このような係数のことを、反射モデルのパラメータと呼ぶ。通常これらのパラメータは、アーティストが手作業によって、試行錯誤を繰り返して決定する。しかしながら、この方法では、精度に限界がある。そこで、アンの顔や身体を復元する際には、実際に女優の顔や身体を撮影した写真をもとにして、反射モデルのパラメータを復元するという方法が採られた。そのために導入されたのが、ライトステージという測定装置だった。

ライトステージでは、球の表面上に、



映画「キング・コング」では、背景、筋肉、皮膚、毛、といったさまざまな要素に対して高度なCG技術が必要とされた。このため、VFXを担当したWETA DIGITALでは、「ロード・オブ・ザ・リング」3部作を遥かに上回る大規模な技術開発が行われたという

等間隔で白色のスポットライトが配置されている。そして、各単独のスポットライトで、球の中心に座った人間の顔を照らして、撮影を行う。こうして撮影された写真の集合は、光の入射方向を変化させた場合の反射の特徴の変化を表している。さらに、上記の撮影を、撮影カメラの位置を変化させて行えば、これら全ての写真の集合から、入射方向と反射方向を変化させた場合の反射の特徴の変化を

知ることができる。そこで、こうして得られた反射の特徴の変化をグラフ化し、このグラフと、実際に復元で用いる反射モデルのグラフとがぴったり重なるように、反射モデルのパラメータを決定する。こうして決定されたパラメータを用いることによって、実際の俳優の顔や身体を正確に復元することができる。

アンの顔や体の皮膚の質感を復元するためには、反射モデルとして、

Lafortune モデルというモデルが用いられた。1997 年に考案されたこのモデルは、軸の向きや長さの異なった複数のコサイン・ローブ(注 1)に、重みを付けて足し合わせたものとなっている。CG で用いられるほとんどすべてのタイプの反射を、単純な関数によって非常に巧く近似できる点が、このモデルの大きな利点とされている。

映画 VFX の分野でライトステージが初めて用いられたのは、映画「スパイダーマン 2」のプロジェクトだった。この作業を担当したマーク・サガーが、「キング・コング」においても、ライトステージを用いて質感の復元を行った。「スパイダーマン 2」のプロジェクトでは、目の質感の復元が課題として残されていたが、今回は、ライトステージのデータと Lafortune モデルとを結びつけることによって、アンの「白目」の部分の質感も復元された。

注 1) コサイン関数のべき乗を表わすグラフのことをコサイン・ローブと呼ぶ。

キング・コングの作成

あらゆる技術の中でも最大のチャレンジとなったのは、やはりキング・コングの作成だったと、スノー氏は語っている。350 万本もの毛で覆われたキング・コングの登場シーンは、1000 カットにも及んだ。まず、いかにして、このような膨大な量のデータを、限られた時間で計算できるようにするかということが問題となった。また、背景やライティングにおいては、ファンタジーの要素を優先させたペーター・ジャクソン監督だったが、ことキング・コングに対しては、予想を遥かに上回る写実性を要求したという。このため、開発面でも、キング・コングの作成に関して、最も多くの時間と労力が費されることになった。中でももっとも大きな課題となったのが、ゴリラでありながらも人間に近い感性をもったコングの表情の作成と、コングの体を覆う毛の表現だった。

コングの表情の作成

コングの表現の中でも最大のチャレンジとなったのは、コングとアンの間に芽生えた「愛」に近い感情をどのように表現するかということだった。コングは言語を話さない。したがって、コングの感情を表す唯一の手段は、顔の表情だった。そこで、人間に近い感情を持ったゴリラの表情を作り出すために、新しいコンセプトのフェイシャル・アニメーション・システムがマーク・サガーによって開発された。

コングの表情の原型は、役者(アンディ・サーキス)が演じた顔の表情を、モーション・キャプチャーという装置で取り込むことによって作り出された。モーション・キャプチャーでは、俳優の顔の表面に多数のマーカーを取り付けて、俳優にいくつかのパターンの演技をさせる。マーカーは、この演技によってつくりだされた顔

コングの顔のアニメーションの 80% は、役者の演技を参考にしてアーティストが手作業によって作り出した。残りの 20% は、コングの顔のクローズ・アップ・シーンで、これらに関しては、ゴリラらしい顔のリアリズムと、人間らしい表情の両者を共存させる必要があったため、今回紹介したフェイシャル・アニメーション・システムが用いられた





コングの体を覆う毛の総数は 350 万本。この膨大な量の毛の動きや色をいかにして限られた時間内に算出するかが、最大の課題となった

の形の変化を、デジタル・データとして記録する。ただし、マーカーが記録しているのは、マーカーが取り付けられた一点の位置の変化に過ぎない。そこで、通常は、複数のマーカーが記録している位置の変化を、数式を用いて補間することによって、顔の表面の各点の位置の変化を算出する。

しかしながら、顔に取り付けるマーカーの数には限度があり、また、各マーカーが取り込んだデータも誤差を含んでいる。このため、上記のように補間によって顔全体の形の変化をうまく作り出すためには、データの誤差や不連続なところをカバーできるように、かなり強制的な補間を繰り返す必要がある。その結果、役者が作り出した「生の演技」の旨みが失われてしまうことも多い。特に今回の場合には、ゴリラの癖や習性を充分研究したうえで、サーキスが苦心して作り出した演技を、いかにして生き生きと再現するかが大きな課題だった。そこで、マーカーが取り込んだデータを、ユークリッド空間上に位置の変化として記録するのではなく、「エクспレッション・スペース」という空間上に表情の変化として記録するという方法が採られた。

エクспレッション・スペース

エクспレッション・スペースは、

1978 年に心理学者ポール・エイクマンが考案したフェイシャル・アクション・コーディング・システム (FACS) というものに基づいている。FACS では、「眉を上げる」「上瞼を上げる」「頬を持ち上げる」といった、表情を決定するうえで基本となる動き (AU: action unit) を組み合わせ、任意の表情を作り出す。各 AU に重みを付けて足し合わせたものを座標値とする空間が、エクспレッション・スペースとなる。

実際の作業では、エイクマンが定義した AU そのものではなく、監督やスーパーバイザーの意見を取り入れて、独自の AU が複数定義された。そして、これらの AU に近い表情をサーキスが演じ、その動きがモーション・キャプチャで取り込まれた。取り込んだデータをエクспレッション・スペース上に記録することによって、データの細かい誤差をあまり気にする必要がなく、役者の演技の特徴をより直感的に掴み取ることができるようになったそうだ。

AU は、眉、瞼、頬といった、顔の各部分の筋肉の動きと結びついている。したがって、AU に重み付けをして足し合わせることによって、顔の筋肉のさまざまな動きが作り出される。そして、これらの筋肉の動きをさらに補間することによって、最終的な顔の表面の形の変化が

作り出される。

ところが、上記のエクспレッション・スペースで作り出された表情を、そのままコングに適用すると、いろいろと不都合なことが起きてくる。なぜなら、ここで定義されている AU は、あくまで人間の顔の筋肉の配置に基づいたもので、ゴリラの顔の場合には、その筋肉の配置や構造が人間のものとはかなり異なっているからだ。また、同じ「笑う」という表情にしても、ゴリラの場合には「歯を剥き出す」といった、人間とは異なったポーズと作り出す。さらに、ゴリラの場合には、「吼える」といったような、人間にはないゴリラ特有の表情も持っている。そこで、ゴリラ特有の AU をベースにした、ゴリラ専用のエクспレッション・スペースも作成されることになった。そして、コングの顔の表情を作り出す上では、まず役者の演技を人間のエクспレッション・スペース上に記録し、これをゴリラのエクспレッション・スペース上のデータに変換するという方法が採られた。

人間のエクспレッションから ゴリラのエクспレッションへ

人間のエクспレッションからゴリラのエクспレッションへの変換では、単なる変換を越えた工夫が凝らされた。それは、ゴリラの「目」の動きに対応させ



毛の質感の表現においては、ヒロインの金髪表現が大きな課題となった。このために導入されたのが、Siggraph2003 で発表された Marschner モデルだった



金色や茶色の毛では、毛の表面のハイライトの色が微妙に変化し、この変化を正確に表わすことが、毛の質感のリアリズムを作り出す上で重要な役割を果たす。左から順に、従来の毛の質感モデル (plain-kajiya)、Marschner モデル (plain-ourmodel)、実写 (plain-photosat) によって作成された毛の質感

て変換を行うということだった。エクспレッションを割り当てるゴリラの顔の大まかなポーズは予めわかっている。そこで、このポーズやアーティストの指示をガイドラインにして、ゴリラがどこを見つめているかを検出し、この情報に基づいて最終的なゴリラのエクспレッションを作り出す。

たとえば、目が見つめている方向が変われば、まず顔に関連した AU の係数が変わってくる。そして、この変化は、顔以外の部位に関連した AU の係数にも間接的に影響を及ぼす。したがって、同じサーキスの演技をあてがうにしても、ゴリラがどこを見つめているかによって、異なった表情が作り出されることになる。このように、目の動きを考慮して変換を行うことにより、コングの感情をより生き生きと描き出すことができるように

なった。

また、監督は時として、サーキスの演技とは似ても似つかないような表情をコングに望むことがあり、なおかつその要望も、制作の過程で変わっていくことが多かったという。そこで、このような要望にうまく対応するために、人間のエクспレッションからゴリラのエクспレッションへ変換する過程で、アーティストがインタラクティブにエクспレッションのコントロールを行えるようなユーザーインターフェースも追加された。これによって、演出上の要請にもフレキシブルに対応できるようになった。

毛の表現技術

CG スーパーバイザーのガイ・ウィリアムズ氏は、「キング・コング」で用いられた CG 技術の中でも、最も多岐に渡って

重要な役割を果たしたのが、毛の表現技術だったと語っている。

コングの全身を覆う毛に関していえば、最大の課題となったのは、膨大な数の毛の動きや色を、いかにして限られた時間内で計算できるようにするかということだった。

コングが登場するシーンは 1000 カットにも及んだ。このため、アニメーションの 1 フレームあたりの計算時間は 5 時間以内に収める必要があった。24 ビットのマシンを用いてこれを達成することは非常に困難で、レンダリング時間を短縮するためのありとあらゆるテクニックが導入されたそうだ。

また、その一方で、メモリ容量の増大という問題もあった。特に、描いた絵に「影」を付けた場合に必要となるメモリの増大は致命的だった。実際のところ、メモリが足りなくなり、トラックでディスクが運ばれてくるのを待たなくてはならない状態に陥ったこともあったそうだ。そして、このような経験は、今後レンダリング・パイプラインを改善していく上で必要とされる、多くのことを学ぶ機会を与えてくれたという。

実際に毛を描くレンダリングの工程だけでなく、毛の生え方や動きを決定する工程でも、全体の処理をよりシンプルな処理に細かく分割することによって、計算の効率化が図られた。

たとえば、毛の生え方を決定する際には、まず、さまざまな向きや長さの毛（注 2）を、毛を生やす領域全体に、まんべんなくばらまく。そして、部分的に特徴のある毛の生え方を作り出すためには、その部分にばらまかれている毛を、ある特定の直線や曲線に沿って引付けたり曲げたりする。

毛の動きを決定する工程も、動きを作り出す要因（「皮膚の変形」「体の運動」「外力や衝突」）に応じて、細分化された。このように細分化すると、たとえば、毛を生やしたキャラクターの体は動いておらず、毛の生えている部分の皮膚だけに変形した場合には、毛の生え方を決定する際の「毛をばらまく」アルゴリズムを

ほぼそのまま使って、毛の位置や向きの変化を作り出すことができる(注3)。厳密に言えば、毛の動きを正確に作り出すためには、運動方程式を解く必要がある。ところが、上記のように細分化すると、ある条件のもとでは、運動方程式を解くという作業を、より単純な計算に置き換えられる。そして、その結果、全体の計算量を大幅に削減できる。

注2) 1本の毛は1本の曲線によって表されており、この曲線には、毛の向きや長さ、毛に太さや硬さなどの情報が与えられている。

注3) 皮膚が伸縮した場合には、伸縮の割合に応じて、毛をばらまく密度を変える。皮膚が変形して盛り上がりたり凹んだりした場合には、その部分の法線方向の変化に応じて、毛の向きを変える。

金髪の毛の表現

上記の毛のアルゴリズムは、デジタル・ダブルの人間の毛にもそのまま用いられた。ただし、ここで問題となったのが、毛の質感だった。これまで映画VFXで用いられてきた毛の質感モデルは、毛に当たった光は、毛の表面で反射されるか、あるいは毛の内部で吸収されると考えられていた。実際には、毛を透過する光や、毛の内部で反射される光もあるのだが、このような光の挙動を考えると、計算が非常に複雑になる。このため上記のように仮定して、計算の効率化を行っていた。

たとえば黒髪の毛の場合には、毛に当たった光は、ほぼ上記の仮定どおりの挙動を示す。しかしながら、金髪のように色の薄い髪の毛の場合には、毛を透過したり、毛の内部で散乱されたりする光の割合が非常に多くなる。その結果、たとえば逆光に照らされた毛を透過して手前に洩れてくる光や、毛が落とす影の色が変わる。また、毛の艶を作り出すハイライト(光輝部)に関しても、黒髪の場合には白色のハイライトだけが作り出されるのに対して、金髪の場合には、白色だけでなく色のついたハイライトも表れる。そして、これまでのモデルでは、このような金髪の毛の特徴を正確に表現することができなかった。

映画「キング・コング」では、コングの毛もさることながら、ヒロインの金髪の毛を、いかにフォトリアリスティックにCGで復元するかが大きな鍵となっていた。このため、毛の内部で起こる透過や散乱にも対応した、新しい毛の質感モデルが導入されることになった。

新しい毛の質感モデル

毛の質感を担当したマーチン・ヒル氏は、2003年に発表されたMarschnerモデルという新しい毛の質感モデルを採

用した。このモデルは、毛の中心部分にあたるシリンドラーと、毛の表面をコーティングしているキューティクル(透明の膜)によって構成されている。キューティクルは、シリンドラーの外側にタイルのように貼り付けられている。そして、毛の表面での反射や透過、毛の内部での散乱は、すべてこのキューティクルと光との干渉によって作り出される。

Marschnerモデルでは、さらに、金髪の毛の質感の特長を掴むための実験を行い、その結果に基づいて、キューティクルと光との干渉が作り出す視覚的な効果を、単純な関数によって近似している。この実験では、人間の黒髪と金髪に光を当てて撮影を行い、ライトや視点の変化によって、反射される光の割合がどのように変わるかを測定する。これによって、毛の透過や毛の内部での散乱によって、どのような視覚的な特徴が作り出されるかを知ることができる。

ただし、上記の実験は、人間の髪の毛の美しい艶がどのようにして作り出されるかを知るために、髪化粧品の開発分野で行われてきた実験がもとになっている。したがって、この実験結果に基づいた関数をそのまま用いると、常に、シャブーしたばかりのつやつやした髪の質感ができあがってしまうことになる。ところが、映画の中では、コングの毛にしても、アンの金髪にしても、泥や埃にまみれている場合が多かった。そこで、Marschnerモデルの関数に微妙な調整を加えて、各シーンで求められている毛の質感にできる限り近いものを作り出す努力がなされたそう。ニューヨークの夕暮れに、アンがエンパイア・ステート・ビルディングの頂上で逆光に照らされるシーンでは、このモデルによって復元されたアンの髪の質感が、非常に効果的に用いられている。

注4) "Light Scattering from Human Hair Fibers" (Stephen R. Marschner, Henrik Wann Jensen, Mike Cammarano, Steve Worley, Pat Hanrahan, Proceedings of Siggraph2003)

Noriko Kurachi



Ben Snow:
VFX スーパーバイザー
オーストラリア出身。ILM
において、「SW2」のCGスー
パーバイザー、「ヴァンヘル
シング」のVFXスーパーバ
イザーを経たのちに、「キン
グコング」プロジェクトの
ためにWETAに移籍。映画
「キングコング」では、あ
らゆる種類のアートと技術と
を融合させて、監督の望み
通りの世界観を作り出した



Mark Sagar:Special
Projects Supervisor
オーストラリア出身。映画
VFXにおける「顔」の表
現技術の第一人者映画「キ
ング・コング」では、リア
ルで感情豊かなコングの表
情を作り出すためのフェイ
シャル・アニメーション・
システムを構築した。また
前回紹介した、ライトステ
ージを用いたヒロインの顔
や身体の質感の復元も同氏が
担当した



Guy Williams :
CG Supervisor
LAのVFXプロダクション
を経て7年前にWETAに
移籍。「ロード・オブ・ザ・サ
ーリング」シリーズでもCG
スーパーバイザーを務めた。
「キング・コング」では、コ
ングの登場シーンを中心に
CGスーパーバイジングを
担当した



Martin Hill:
Sequence Lead
スコットランド出身。「キン
グ・コング」のプロジェクト
に参加するため、ロンド
ンのダブル・ネガティブ社
からWETAに移籍。2003
年のSiggraph論文をもとに、
どのような種類の毛にも対
応できる、汎用性の高い毛
の質感モデルを開発した