



## スター・ウォーズ・エピソード3 (Part1)

倉地 紀子

6月の全米公開以来、エピソード1、2を大きく上回るヒットを記録したSWシリーズ最終作「スター・ウォーズ：エピソード3 シスの復讐」は、待ち望まれたストーリーもさることながら、エピソード4、5を彷彿とさせる世界観が、多くの観客の心を捉えたようだ。そして、このような世界観を作り出すために目指されたのが、エピソード1、2とは対照的な極めて実写に近い表現だった。CGシーンにしても、めっきりリアルになったヨー

ダを除いては、ほとんどそれがCGであることを感じさせない。ILMにしてみれば異例のインビジブル・エフェクトだったといえる。

この連載では、エピソード3の魅力をもさに影で支えたCG技術の真髓を、技術開発者やスーパーバイザーとのインタビューを交えて順に紹介し、シリーズ最終作において、ルーカスがCG技術に求めたものは何だったのかを探ってみたい。

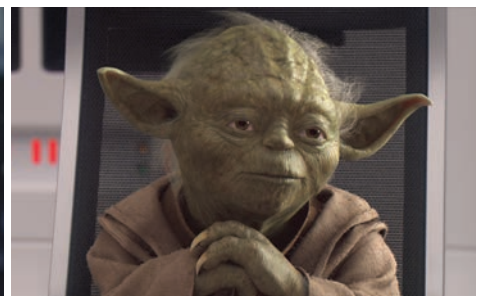
### ライティングおよびレンダリング

実写に近い世界観を作り出すために大きく貢献したのが、まずライティングおよびレンダリング技術の進歩だったといえる。この3年の間にレンダリングに対する常識は大きく変化した。エピソード2作成時はまだ大型映画でレイトレーシングやグローバル・イルミネーションが大々的に用いられることはほとんどなかった。しかしながら、一昨年あたりからは、フル3DCG映画でもグローバル・イルミネーションが当たり前のように用いられるようになってきた。そのような時代の流れの影響もあって、エピソード3では、レイトレーシングやグローバル・イルミネーションをはじめとして、エピソード2の時とは比較にならないほど、複雑でバラエティに富んだレンダリング技法が導入された。

映画の中で最も複雑なライティングを駆使されたのが、オープニングのスペースバトル・シーケンスだった。このシーケンスでは、カメラが目まぐるしく動き回るためレイトレーシングが活用され、環境に対してはグローバル・イルミネーションも用いられたという。一方、キャラクターに対しては、グローバル・イルミネーションの代わりに、環境全体から差し込む光が間接的に及ぼす影響を、アンビエント・オクルージョンという手法を用いて近似していた。一般的にグローバル・イルミネーションは、建造物などのライティングには向いているが、キャラクターをライティングする場合にはあまり大き



カメラが激しく動き回るオープニングのスペースバトル・シーンでは、もっとも複雑なライティングが駆使された。環境に対してはグローバル・イルミネーションも導入された



サブサーフェース・スキャンタリングは、ヨーダのリアリスティックな皮膚を作り出す上で最も重要な役割を果たした。サブサーフェース・スキャンタリングが真価を発揮するためには、正確なライティングが行われていなければならないため、エリアライト、レイトレーシング、アンビエント・オクルージョンを用いて、グローバル・イルミネーションに近いライティングが作り出された。(©2005 Lucasfilm Ltd. All right reserved. Digital work by ILM. 7月9日より全国一斉ロードショー)

な効果が期待できないからだそうだ。

グローバル・イルミネーションやラジオシティのようなライトシミュレーションを行わないレンダリングでは、環境全体から差し込む光の影響をアンビエント (Ambient) と呼ばれる定数値で近似する。しかしながら、実際には、環境全体からの光は、物体表面に到達するまでに、他の物体に遮られたり、また、物体表面上の他の点で反射されたりして、微妙に変化する。そこで、アンビエント・オクルージョンでは、物体を取り囲む環境を表す球面全体に同じ強さの光源を均一に配置し、これらの環境全体からの光が、レンダリングする点に到達するまでにどれだけ妨げられるか (オクルージョン: Occlusion) を前計算しておく。この前計算の結果をテクスチャとして持たせておくことによって、任意のライティングのもとで作り出される間接光の影響を近似することができる。

たとえば、環境からの光がテクスチャ (環境マップ) で表されている場合には、アンビエント・オクルージョンを表すテクスチャと環境からの光を表すテクスチャ

を掛け合わせたものがレンダリング結果となる。このため、一般的にアンビエント・オクルージョンは、環境マップを用いたイメージベースド・ライティング (IBL) と併用されることが多い。しかしながら、エピソード3では、キャラクターに関しては、IBLは用いられなかったという。なぜなら、キャラクターのライティングには、キャラクター独自の世界観をもたせる必要があり、必ずしも現実の世界のライティングをキャプチャしたものが、リアルなライティングだとはいえないからだそうだ。そして、独自の世界観を持たせつつ、実写さながらのリアリズムを作り出すために活用されたのが、サブサーフェース・スキャンタリング (Subsurface Scattering) という手法だった。

### サブサーフェース・スキャンタリング

サブサーフェース・スキャンタリングとは、もともとは技法の名称ではなく、物体表面から物体内部に入り込んだ光が、物体内部で散乱を繰り返したのちに、ふたたび物体表面から物体の外に出ていくという光の挙動を指している。実際のと

ころ、自然界ではほとんどの物体において多かれ少なかれこのような現象が起きており、これを正確にシミュレートすることによって、「トランスルーセント (半透明)」と呼ばれるオーガニックな質感を作り出すことができる。映画VFXの分野では、特に生物の皮膚をリアルに表現するために欠かせない技法として注目されるようになってきている。ILMではエピソード2の作成中に、すでにサブサーフェース・スキャンタリング・シェーダーが開発されていたが、その時点では安定性に欠けるとして、これを映画に用いることは見送られた。その後、「ハリーポッター2」をはじめとするさまざまなプロジェクトを経て、このシェーダーには数々の改良が加えられ、エピソード3では晴れて用いられることになった。

エピソード3でも、サブサーフェース・スキャンタリングは、まずヨーダの皮膚のリアリスティックな質感を作り出す上で大きな威力を発揮した。特に、耳から透けて見える逆光の影響は、サブサーフェース・スキャンタリングならではの表現だったといえる。さらに、映画を見



どことなく人間らしさを残した悪役グリーバスにも、サブサーフェース・スキャンタリングが用いられた



Christophe Hery: エピソード1では、その後のILMの群れの表現の原点となるクラウド・パイプラインを開発。エピソード3のサブサーフェース・スキャンタリング・シェーダーも、生物の表現に欠かせないILMのオリジナル・ツールとして定着しつつある

る限りでは、ヨーダ以外のところでサブサーフェース・スキャンタリングが用いられていることにはまったく気付かないが、実際には映画の中のいたるところで、この技法が活用されている。たとえば、エピソード3では、俳優が激しいアクションをするシーンの多くで、俳優の顔または全身がCGで置き換えられている(デジタルダブル: Digital Double)が、サブサーフェース・スキャンタリングは、このようなCGアクターの顔や身体にも適用されている。

また、エピソード3で初めて登場するCGキャラクター“グリーバス”の顔の質感や、森林惑星キャッシュイクに生い茂る森や植物の質感を作り出すためにも、サブサーフェース・スキャンタリングが用いられた。ドロイド軍の総指揮者グリーバスには、当初は非常に硬く冷たい質感が与えられていたという。しかしながら、映画の中で重要な意味を持つこのキャラクターには、映画制作の進行

が進むにつれて、明らかに他のドロイドとは違う、より人間に近い資質が加えられていったそうだ。サブサーフェース・スキャンタリングもそのような要素の1つだったようだ。一方の森林惑星は、SW旧シリーズでおなじみのチューバッハの故郷でもあり、ルーカスの思い入れがひときわ強かった惑星だったという。

サブサーフェース・スキャンタリングの導入は、他の不毛な惑星との差別化という意味合いもあったようだ。グリーバスや森林惑星におけるサブサーフェース・スキャンタリングは、実写とみまがウリアリズムを作り出すためというよりは、むしろ自然界の物体がもつ「豊かさ」や「暖かさ」を表すために用いられており、その意味では、このところも映画VFXのトレンドとは裏腹に、サブサーフェース・スキャンタリングがもつ本来の特長を生かした活用法だったともいえる。

エピソード3において、サブサーフェース・スキャンタリングがこれだけ広範囲に

渡って多面的に用いられることになった理由は、この技法の安定性の向上というよりはむしろ操作性の向上にあった。もともと、サブサーフェース・スキャンタリングを正確に表現するためには、物体内部で繰り返される光の散乱を正確に捉える必要があり、そのためには、複雑な微分方程式を解くか、パーティクルを用いたシミュレーションの計算を行わなければならなかった。ところが、2001年にヘンリック・ヴァン・ジャンセン(Henrik Wann Jensen)によって発表されたジャンセン・モデル(注1)は、上記のような複雑な光の挙動を、仮想的な点光源によって近似することに成功し、これによって、サブサーフェース・スキャンタリングの実用化が急速に進むことになった。

当初ILMが導入したのもこの手法だった。しかしながら、この手法の最大の難点は、どの位置にどのくらいの強さの点光源を配置するかを、複雑な物理パラメータによって指定しなければならない点だった。当然のことながら、これらのパラメータが適切に設定されていなければ、予想通りのトランスルーセントな質感は作り出すことができないのだが、複雑な物理パラメータをうまくコントロールすることは非常に難しい。そこで、ILMは、物理パラメータをより直感的にわかりやすいパラメータで置き換え、さらにこれらのパラメータをテキストチャットとして与える方法を考案した(注2)。

具体的には、まずサブサーフェース・スキャンタリングを考慮しない場合に物体がどのように見えるかを、アーティストがペイントしたテキストチャットや、完全なディフューズ光で照明して撮影した写



ライティングが重要なシーンをスーパーバイスしたJohn Helms氏には、ライティングとデジタルダブルに関して語ってもらった

本来グリーバスの顔の質感は岩石やプラスチックなどの物体に近いにも関わらず、これらの物体がもつ透明度をパラメータとして与えると、「顔」には見えなくなってしまったという。そこで、人間の肌と同じ透明度のパラメータを与えたところ、予測していたとおりの質感を得ることができたそうだ



ウーキー達が息づく森林惑星キャッシュークの森や植物に対しても、サブサーフェース・スキヤタリングが用いられた。エピソード3のサブサーフェース・スキヤタリングは、単にリアリズムを高めるだけでなく、生命がもつ豊かさや暖かさを象徴する役割も果たしていたといえる

真として与える（注3）。そして、このテクスチャの各ピクセルの値から、それぞれのピクセルに対応する物体表面上の各点で、光がどのくらい散乱されるかという指針になる値を算出する。そして、最後に、物体をどのくらいトランスルーセントに見せたいかという、透明度をあらわすパラメータを与えると、物体表面上の各点において、サブサーフェース・スキヤタリングを経た光が作り出す光の強さが算出される。つまり、この方法では、与えられた一枚のテクスチャと一つのパラメータから、自動的に、サブサーフェース・スキヤタリングを考慮した場合の物体の見え方が復元されることになる。

このように、テクスチャを用いた制御方法は、なじみやすく直感的にわかりやすいうえ、物体表面全体の最終的な見え方を予測しながらコントロールを行うことができる。また、テクスチャとして写真を用いることができる点も大きな利点となっている（デジタルダブルへの適用では、スタジオで撮影された俳優の顔の写真がテクスチャとして用いられた）。このため、以後ILM内では、サブサーフェース・スキヤタリング普及が急速に進んでいった。

### 「人間の顔の皮膚」

実際のところ、インタビューを行ったどのテクニカル・スタッフも、このサブサーフェース・スキヤタリング・シェーダーは本当に効率的だと語っている。通常新しい技術を導入した場合、新技法を敢えて用いることの負荷と結果映像の質の向上のうちのどちらを選ぶかという選択を迫られるのだが、上記のシェーダー

の場合には、そのようなトレードオフはまったくなく、使いたいところで使うことができたようだ。シェーダーを開発したクリストフ・ヘリー氏（Christophe Hery）自身、デジタルダブルにまでこの技法が適用されているとは、プロジェクトが終了した時点でもまったく気が付かなかったという。

もっとも、サブサーフェース・スキヤタリングも万能ではない。この手法は、正確なライティングを行った上で、これまでになかった「何か」を加えることはできても、すでにあるライティングを修正したり変更したりするには適していないという。このため、不完全なライティングのもとでサブサーフェース・スキヤタリングを加えると、思ったような効果を得ることは難しく、またライティングのテスト段階で用いると、逆にテストを混乱されることにもなりかねないようだ。適切な場所でバランスよく用いることが大切だということらしい。

エピソード3におけるサブサーフェース・スキヤタリングの導入は、新技術を映像制作に結びつけた成功例ともいえるが、ヘリー氏の目から見ると、コントロールの面ではまだまだ改善の余地が多いという。なぜなら、映像制作でこの技法を用いる場合、そのパラメータ設定は必ずしも理論どおりにはいかない場合が多いからだ。たとえば、グリーバスの顔の本来の質感は、人間の皮膚というよりは、岩石やプラスチックのような質感に近かった。そこで、透明度を表すパラメータのr,g,bの比率を、人間の皮膚のものとは若干変えて設定してみたという。ところが、そのように設定したところ、どう見ても「顔」とは認識できない質感が出来上がってきてしまったようだ。

人間の目は、あらゆる皮膚の中でも「人間の顔の皮膚」に最もなじんでいる。このため、人間の皮膚がもつ透明度を「顔」の透明度として認識するように学習しているのだそうだ。ヘリー氏は、これを「人間の目がもつ心理的なパラドックス」だといっている。そして、キャラクターに関する限り、たとえそのキャラクターの肌が、大理石のような質感だとしても、溶岩のような質感だとしても、肌の透明度としては人間の肌に極めて近い値を設定すべきだというのが、エピソード3のプロジェクトを通して学んだことだという。

このように、透明度を表すパラメータを変化させることによって、結果的にどのような影響が表われるかを前もって正確に予測することは、現時点でもまだ難しいようだ。よりアーティスティックな視点から、より自由度の高いコントロールを可能にすることが、最大の課題となっているという。

注1) “A Practical Model for Subsurface Light Transport” (Henrik Wann Jensen, Proceedings of Siggraph2001)

注2) 物理パラメータをディフューズ・カラーと物体の透明度で置き換える方法は、2002年にジャンセン氏本人によって既に発表されていたが (“A Rapid Hierarchical Rendering Technique for Translucent Materials”), パラメータをテクスチャとして与える方法は、ILMのアイデアだったといえる。

注3) テクスチャとして写真を用いる場合には、非常に大きなエアライトを用い、ライトやカメラにはボラライザーを付けて、極カスペキュラーの発生を抑える工夫がなされた。デジタルダブルへのサブサーフェース・スキヤタリングの適用では、このようにして撮影された俳優の写真がテクスチャとして用いられた。

Noriko Kurachi