

CGcontents

「スター・ウォーズ：エピソード2」 The Movie Magic by ILM

倉地 紀子

エピソード1で大規模なCGの導入をおこなったILMが、エピソード2で成し遂げた偉業は、いままでにみたことのない映像の「美しさ」だった。まさに「映像の魔術師」とよぶにふさわしいILMによるムービー・マジックの裏側を、多面的にさぐってみる。

エピソード2は、HD-24Pをもちいたデジタル撮影やフル3DCG映画とみまがう量のCGの導入などによって、撮影や編集から、キャスティングやロケーション、挙げ句は映像制作の予算にいたるまで、実写映画の新しい形態やその可能性を提示したものとなっている。

CGに関しても、これまでの実写映画におけるCGという枠を大きく越え、フル3DCG映画に近い主体性を与えられており、ILMが成し遂げた偉業は、実写映画に実写を越えるリアリズムを与えている。実際のところILMは、フォトリアルなデジタル・ヒューマンにもチャレンジしたかったそうだが、完全に成熟しきった技術のみと使うというジョージ・ルーカスの方針で、人間に関しては俳優をもちいた実写撮影が徹底されたという。ただ、ILMがエピソード2でおこなった技術開発には、将来的にデジタル・ヒューマンをめざした方向性が色濃くあらわれており、よりオーガニックでよりインテリジェントなCGエレメントの作成に技術的なターゲットが絞られていたようだ。

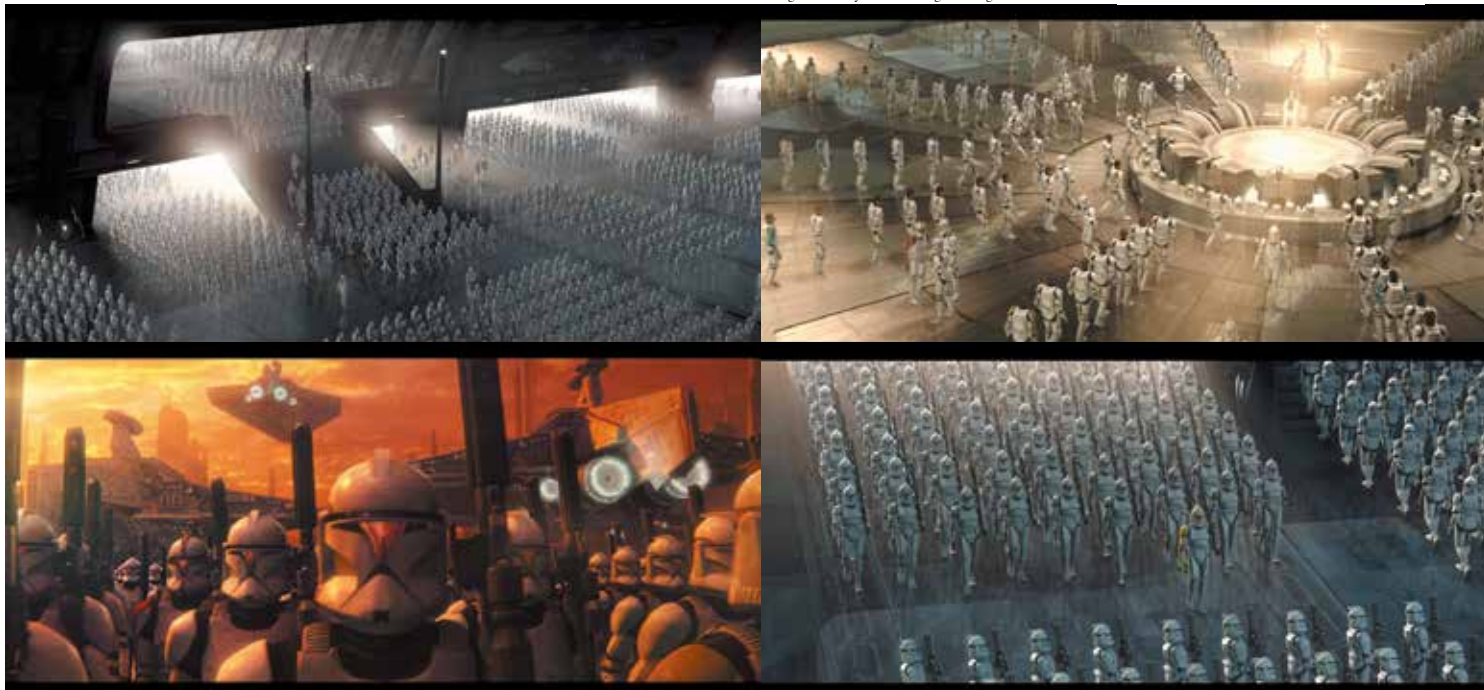
また、ILMには、「ひとつの表現にひとつのインハウス・ツール」といえるほど数多くの多彩なインハウス・ツールが存在し、表現の隙間を完璧にうめつくすこれらのツールは、ILMがつくりだす緻密で繊細な映像美に大きく貢献しているが、現存するILMのインハウス・ツールの中で中心的な役割をはたしているもののほとんどは、エピソード1において開発され、その後数々のプロジェクトを経て改善を重ねてきたものとなっている。エピソード2では、これらのインハウス・ツールが総動員され、そのあらゆる局面において、「デジタル・インテリジェンス」ともいえる、同一の方向性をもった開発がおこなわれた。

エピソード2でILMがもちいた技術は、もぎたての果実というよりは、丁度いい頃合いの味をだしはじめた発酵酒ともいえ、それがたとえようのない映像美を生み出す大きな要因となっているのは確かなようだ。ILMはその中から、「リジッド・ボディー・シミュレーション」「クロス・シミュレーション」「クラウド・シミュレーション」「フォト・モデリング&ライティング」を代表的なものとしてあげている。今回は、この4種類の技術を、それらをもっとも大きく反映されているふたつのシーンとともに、インタビューを通して紹介する。

リジッド・ボディー・シミュレーション インタビュー：ILM R&D

マルカス・ノルド氏(Marcus Nord)
変形しない物体の物理シミュレーションをおこなう、リジッド・ボディー・シミュレーションのインハウス・ツールは、エピソード1で、ロボットの動きをつくりだすために開発された。ただ、このときのツールは、まさに「硬い」(リジッド)物体専用の物理シミュレーション・ツールで、ILMはこれを「トラディショナルなリジッド・ボディー・シミュレーション」と呼んでいる。そして、このインハウス・ツールは、映画「パール・ハーバー」で大きく進化した。ILMは、戦闘機の爆破にリジッド・ボディー・シミュレーションをもちいることを考え、段階的な爆破を正確にシミュレートするために、戦闘機を破片に分けてモデリングし、爆破の各段階に対応したクラスタ構造をあたえ、爆破の各段階におけるシミュレーションの計算を、同じレベルのクラスタ同士の間でおこなうことができるようにした。この方法で物体を非常に細かい破片に分割すれば、ソフトな物体の変形シミュレーションを近似することもでき、リジッド・ボディー・シミュレーションをよりソフトでオーガニックな表現に適用しようとする試みは、ここに端を発しているともいえる。

エピソード2では、よりオーガニックな表現として、クローン・トルーパーの動きにリジッド・ボディー・シミュレーションがもちいられている。もちろん、各種ロボットの動きや宇宙船や惑星の爆発にもリジッド・ボディー・シミュレーションは用いられており、とくに爆発に関しては、「パール・ハーバー」では爆発の段階が進行するタイミングをあらかじめ手付けで与えておかなければならなかったのに対して、エピソード2の爆破ではタイミングまでもが自動的に算出されているという。ただ、もっとも大きな進化は、クローン・トルーパーの複雑な動きをつくりだすための、アニメーションのコントロールにあったという。ロボットと違って、クローン・トルーパーは、より生身の人間に近い外見をもち、より人間に近い動きをする。頭、体、コスチューム、といった具合に、その各部位ごとに、シミュレーションの計算にもちいられるパラメータやコンストレインの状態も変わってくる。その結果、全体の計算工程は非常に不安定になりがちで、初期値をほんのわずかに変えるだけで、シミュレーション計算が収束しなくなったり、まったく予期せぬ計算結果を算出されるというようなことが頻繁におこったそう。そのような状態を改善して安定したシミュレーションの状態を保てるようにするのがまず第一の課題だったという。また、動きに関しても、クローン・トルーパーは人間の動きとメカの動きの双方を合わせ持っている。たとえば、クローン・トルーパーが打たれて倒れるという動きにおいても、生きている間は人間の動きをし、銃弾が命中して生命を失うととたんに無機質な物質の集合体としての動きに変わる。このような動きをシミュレーションするためには、銃弾が体にあたるまでは手付けのアニメーション・サイクルをもち、銃弾が命中した時点で、手付



© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.

© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.

クローン・トルーパー

頭、体、ヘルメット、コスチュームなど、それぞれの部位が固有の材質や物理的特性をもっている（固有の密度や慣性モーメントをもっている）ものとして、リジッド・ボディー・シミュレーションの計算がおこなわれ、エピソード1のロボットに比べて、よりオーガニックな表現を可能にした。アニメーションにおいても、手付けアニメーションの任意のフレームでリジッド・ボディー・シミュレーションに切り替えたり、リジッド・ボディー・シミュレーションに切り替わったのちも、部分的に手付けアニメーションをブレンドしたりすることができるようになっていく。

けのアニメーションとの整合性をもたせながらその動きがリジッド・ボディー・シミュレーションに切り替わるようにしなければならない。ただ、もともとシミュレーションの計算とは、同じサイクルの計算を反復して行うことによって物理方程式を解いていくもので、初期パラメーターを十分に反映した安定した状態のサイクルを作り出すまでには、一定数の反復計算が必要になってくる。一般的には、シミュレーションを走らせたのち、一定の「助走」期間を経たのちに、本番のシミュレーションがはじまり、実際のアニメーションではこの本番部分だけがもちいられる。したがって、アニメーターが指定した任意のフレームで、その時点でのアニメーションの状態を引き継いで、瞬時にシミュレーションに切り替えるというのは容易なことではない。また、場合によっては、見た目により自然な動きをつくりだすために、銃弾が命中したのちにも人間らしい動きを残しつつ、物理的に正確な動きをつくりだす必要もできたという。このような要望にこたえるために、シミュレーションに切り替わった後にも、部分的に手付けアニメーションをブレンドさせながらシミュレーションの計算を進捗させるように改善されたそう。たとえば、60パー

セントはシミュレーション、40パーセントは手付けのアニメーションといった具合に指定することができ、なおかつその割合も時間の経過につれて変化させることができるという。このためには、シミュレーションの計算がおこなわれるタイム・ステップ毎に、手付けアニメーションがもつ特徴やそれがシミュレーションにおよぼす影響を、なんらかの外力という形でシミュレーションの計算式に加えつつ計算を続行する必要があり、それによってシミュレーションの計算が不安定になることなく、また意図したように手付けのアニメーションを反映させるためには、途方もない量の試行錯誤がくりかえされたようだ。リジッド・ボディー・シミュレーションをもちいたオーガニックな表現の限界はクローン・トルーパーだったようで、ヨーダやデクスター・ジェットスター、およびジオノーシアンの獣に似たクリーチャーなどのリアルな体の動きには、映画「JP3」で恐竜の体の動きをつくりだすために開発されたフレッシュ&スキン・シミュレーションがもちいられた。フレッシュ&スキン・シミュレーションは、物体の変形を物理的に正確にシミュレーションするための「有限要素法」とよばれる技法がもとになっており、筋肉の上に覆い被さっている薄い層を細かい多面体に分割して、すべての多面体もつすべての頂点同士の関係を

物理方程式で記述し、それを解いて各フレームにおける各頂点の変位を算出することによって変形アニメーションをつくりだす。この計算では、頂点の数だけ変数のある方程式を解く必要があり、表現のリアリズムを増すために、分割を細かくすると、その計算時間も極端に増加することになる。ところが、前述したように、物体を細かく分割して、分割されたひとつひとつの要素をリジッド・ボディーと考えることによって、「有限要素法」をもちいた変形を近似することもでき、これによって計算は単純化され、計算時間も大幅に短縮される。たとえば、クリーチャーの体全体にフレッシュ&スキン・シミュレーションを適用するのではなく、最もリアルな動きが必要とされる部分だけにフレッシュ&スキン・シミュレーションを適用し、その他の部分に関しては単純化された計算をおこなうことによって、見た目には十分なリアリティを

© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.



リジッド・ボディー・シミュレーションによる破壊シーン

破壊のアニメーションをリジッド・ボディー・シミュレーションによってつくりだす手法は映画「パール・ハーバー」で開発されたが、この時は破壊の段階が進行するタイミングをあらかじめ手付けであたえておく必要があった。エピソード2の破壊では、そのタイミングまで自動的に算出されている。

デクスター・ジェットスター

エピソード2でつくりだされた新しいフル3DCGキャラクター体の動きにフレッシュ&スキン、服にはクロス・シミュレーションがもちいられている。体のシェーブの変形にも対応したクロス・シミュレーションがおこなわれている。



© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.

© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.



アーム・ロボットの上のクリーチャー

ドroid工場のアーム・ロボットの上で戦うクリーチャーの動きは、アーム・ロボットの動きにコンストレインされたリジッド・ボディー・シミュレーションによってつくりだされた。

保ちながら計算効率をあげることができる。このため、現在ILMでは、汎用的なポリュメトリック・エンジンの開発がすすめられているという。これは、物体や空間全体を細かい3Dエレメントに分割し、その各エレメント同士の関係を記述した物理方程式を解いてつくりだされる、あらゆる種類のシミュレーションの計算をおこなうもので、フレッシュ&スキン・シミュレーションや一部のリジッド・ボディー・シミュレーション、さらに「炎、煙、水」などの表現にもちいられる流体シミュレーションなどもこれに含まれるという。いままで分散して開発されてきた、表現上同じ方向性をもった技術を統合化することによって、作業の効率化だけでなく、シーン全体の動きに統一感をあたえるという意味でも、その効果が期待されているようだ。

クロス・シミュレーション インタビュー:ILM R&D

アリー・ラプキン氏(Ari Rapkin)

エピソード2における最大の見せ場のひとつに、フル3DCG ヨーダのアクション・シーンがある。ダイナミックなヨーダの動きに落ち着いたリアリズムを与えているのが、クロス・シミュレーションをもちいて緻密に計算されたヨーダの衣の動きだ。クロス・シミュレーションの母体は、やはりエピソード1で

開発されたそうだが、ヨーダの衣の複雑な動きは、エピソード1のものとは比較にならないほど制御が難しかったという。また、クロスの変形は、衣をまとったキャラクターの動きによってつくりだされるが、メイン・キャラクターであるヨーダの動きには頻繁に変更がくわえられ、衣の動きがその変更をビジュアライズするための重要な役割を担っていたため、迅速なフィードバックが不可欠だった。このため、コントロールとフィード・バックの容易さに重点をおいて、大幅な改良がおこなわれたようだ。

もっとも大きな改良点は、部分的にシミュレーションをおこなうことが可能になった点だという。これによって、アニメーションするクロスの中の選択された部分だけでシミュレーションをおこなえるようになっただけでなく、部分的に分割を細かくしたり、パラメーターの設定を変えたりしてシミュレーションを再試行することもできるようになったという。このような要望は、クロス・シミュレーションだけでなく、あらゆる種類のシミュレーションにおいて、もっとも優先順位が高いものであるにもかかわらず、なかなかそれが実現されない理由は、シミュレーションをおこなう部分とおこなわない部分とではその境界が不連続になってしまう、シミュレーションの計算ではこのような不連続点で

の処理が非常に面倒なものとなっているからだ。ILMは、この不連続な境界部分においても、境界の両側にあるそれぞれが連続している部分との整合性を保ちながら、うまく計算をおこなう方法を見出したようだ。実際のところ、もうひとつの大きな改良点として、「縫い目」(Seam)の部分をうまく表現することができるようになったことが挙げられており、この部分の計算も、上記のような不連続部分の処理と一致している。これまでは、一部分をのぞいてほぼ満足のいく結果が得られた場合にも、不具合が生じた一部分だけのために、ふたたび全体のシミュレーション計算をおこなう必要があり、その結果、逆に他の部分で不具合が出てきてしまう場合も多かったそうだが、上記のような改善によって、このような作業面での労力が大幅に軽減され、コントロールも容易になり、より迅速なフィードバックが可能になったという。特にヨーダの腕の部分に関しては、念入りにシミュレーションが繰り返されたようだ。

ILMのクロス・シミュレーション・ツールは、インハウスのキャラクター・アニメーション・システムの一部となっている。まずクロスのおおまかな形状をあらわすBスプライン・パッチがクロス・シミュレーション・ツールに読み込まれ、クロス・シミュレーション・ツールはこのサーフェースを3角形のメッシュに分割する。シミュレーション・モデルは3角形の各頂点間にバネを張ったもので、バネが定常時の長さを保とうとする力と時間による長さの変化をとどめようとする力(damping)とを考慮した運動方程式を解き、各頂点の変位をもとめることによって変形がおこなわれる。ひとつの頂点につなげられた複数のバネの間では重み付け(weight)もおこなえるようだ。三角メッシュのシミュレーション・モデルを使ってその各頂点の変位が算出されたのちには、ふたたびBスプライン・パッチに変換され、レンダーマンによってレンダリングがおこなわれる。

変形を引き起こす要因となるのが、クロスと物体との接触によってうみだされる外力で、クロスと物体とを引き離そうとする力、クロスと物体との接触を保とうとする力などがこの外力に相当する。厳密に計算するためには、クロスに隣接した物体の各頂点とクロスとの間で、その接触の状態を吟味する必要



© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.

© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Digital Work by: Industrial Light & Magic.



© Lucasfilm Ltd. & TM. All Rights Reserved. Photo by: David Owen



ミニチュアとフォトモデリング

CG 部隊ばかりが強調されがちだが、ILM が作り出す映像美の原点には、実写やミニチュアの部隊との密接なコラボレーションがある。その一方で、エピソード2 では、いままでもミニチュアや実写で制作されていたようなシーンの多くが3DCG で作成された。上の映像でも、バックグラウンドはマット・ペインティングだが、建物、海、波、しぶき、霧、雨などはすべてCG で作成させた。ただし、同じ建物でもカメラが寄るシーンではミニチュア（写真）が用いられている。

実写やミニチュアにかわるCG エレメントとしたは、マット・ペインティングが主流だが、撮影された写真を用いて3DCG モデルをつくり出す方法（ILM ではフォト・モデリングとよばれている）も、エピソード2 では多用されたようだ。

フォト・モデリングは、イメージ・ベースド・モデリングに相当する技法で、視点をずらして撮影された複数の写真を用いて3D モデルを作成し、同時に撮影された写真を用いてマッピング素材もつくりだし、CG カメラの視点から3D モデルにマッピングする。

インハウスのフォト・モデリング・ツールには、3D モデルを作り出す際に、複数の写真の中でそれぞれ対応する点を自動的に見つけ出す作業を助けるために、カメラ・キャリブレーションやカメラ・マッチムーブなどの機能をもつツールも組み込まれている。実際のところ、理論的には3D モデルを作り出すには2枚以上の写真が必要であるにもかかわらず、一枚の写真からでも、整合性をもった3D モデルを作成できるようだ。

さらに「エピソード2」では、いままでもない量のフォト・モデリングを行う必要があったため、その作業を効率化するために、ツール内でのシェーダーの記述が可能になった。もっとも、ILM が考えるフォト・モデリングの重要性は、その効率よりも、むしろ「マテリアル・プロパティ」（正確な質感）にあるようで、現在はその面での改善にターゲットがおかれているという。（インタビュー：ILM R & D Steve Sullivan）

ヨーダ

コントロールが難しく、ディレクションに応じて迅速なフィード・バックが必要とされたヨーダの衣の動きをつくりだすために、クロス・シミュレーション・ツールは大幅に改善され、シミュレーションをおこなう部分やシミュレーションを再試行する部分を選択して計算をおこなうことができるようになった。

があるが、算出された結果が見た目のリアリティを失うことのないようにこの工程をできるかぎり単純化する努力が、この一二年の間続けられてきたという。今年のシーグラフではそれをテーマにした論文も発表される。エピソード2 では、衣の下にある筋肉の変形にうまく反応するような接触力を効率よく作りだすことが可能となり、部分的にはフレッシュ&スキン・シ

ミュレーションももちいられたというヨーダの体の複雑な動きに、クロスの動きをうまくなじませることができたようだ。もっとも、いかにキャラクタの動きにフレキシブルに反応するクロス・シミュレーションであるとはいえず、キャラクタが、たとえば法外な加速や減速を繰り返すなどといったような、まったくフォトリアルではない動きをしている場合には、そのキャラクタの動きをクロス・シミュレーションの適用が可能なレベルまで自動的に修正してからクロス・シミュレーションがおこなわれるようになっているようだ。理由は、ILM におけるクロス・シミュレーションは、あくまでそれがフォトリアルなアニメーションをつくりだすための一工程となっていないからではないかという。実際のところ、エピソード2 においても、3DCG ヨーダのダイナミックなアクションとブルー・スクリーンで撮影された実写との橋渡しをしているのがクロス・シミュレーションで、いかに主体性をもったCG エレメントが取り入れられたとしても、あくまでそれが実写映画に貢献するものでなくてはならないという考え方がここにも垣間みられる。

クロス・シミュレーションに影響をあたえる外力としては、風や重力などのような外部環境からあたえられる力も考えられる。現在 ILM が、映画「ハリー・ポッター2」のプロジェクトにおいて、急ピッチで開発がすすんでいるのが、風の影響を十分に反映したクロスの動きだという。もちろん、ヨーダの衣の動きでも風の影響は随所で考慮されていたが、ハリー・ポッター2 では、「強い風」にたなびくクロスの動きが重要なポイントとなっているようだ。「風」の動きとしては、これまで、ILM が誇る流体シミュレーション・エンジンがさまざまな形で活用されてきている。今回はそれをクロス・シミュレーションと組みあわせた、新しい表現方法が生み出されるのかもしれない。

Noriko Kurachi