



WTC・ロンドン発、 現実を超えるリアリズム

倉地 紀子

2001年9月11日の朝、NYのワールド・トレード・センター（WTC）の2つのタワーに、ハイジャックされた2機の旅客機が衝突した。21世紀最初の大惨事として記憶に新しいこの事件を、オリバーストーン監督は実話をもとにした人間ドラマとして映画化した。

WTCの事件は、世界各国で幾度となく報道が繰り返されている。観客のほとんどは、実際の事件の有様を一度ならず見ていることになる。それだけに、VFXに関しても限りなく現実に忠実であることが求められた。そして、この厳しい要請に答えたのがロンドンのダブル・ネガティブ社だった。

9月11日のWTC

数あるVFXの中でも最も困難を極めたのが、なんといってもWTCの復元だった。当然のことながら現在のNYにはWTCは存在しない。したがって、当初からWTCの2つのタワーと1階のショッピング・モールをCGで復元することは想定していたという。だが、映画の製作が進むにつれて、WTCを囲むビルや道路などもCGで作成する必要が出てきた。なぜなら監督が望んでいたのは、WTCそのものというよりも、9月11日朝の

NYの情景を、あたかも事実そのもののようリアルに描き出すことだったからだ。そして結果的には、グリーン・バックで撮影した役者以外は、全てCGで作成されることになった。

ビルや街の復元に関しては、「バットマン・ビギンズ」で考案されたSTIGと呼ばれるファイル・フォーマットが用いられた。STIGイメージは、見かけは1枚の大きなパノラマ・イメージだ。数多くの小さなHDR画像をパノラマ状に張り巡らせて作成する。だが、データとしては、1つの画像でなく、もとの小さなHDR画像の集合となっている。通常のパノラマ・イメージの場合、画像ファイルの容量を無制限に大きくすることはできないため、大きなパノラマになればなるほど、その各部分の解像度は低くなる。その結果、撮影時に各部分が持っていた情報の精度が失われてしまう。これに対してSTIGイメージでは、その各部分が撮影時に持っていた情報を全てそのまま保持している点が大きな特徴となっている。このため、通常のパノラマ・イメージのように環境マッピングに用いるだけでなく、細部のテクスチャ・マッピングやマット・

ペインティングなどにも活用できる。もちろんHDR画像で作成されているため、イメージベースド・ライティングに用いることもできる。シーンの復元に必要な情報を全てカバーできることが、STIGイメージの最大の利点となっている。

ただし、今回のWTCでは、「バットマン・ビギンズ」とは比較にならないほどの精度が必要とされた。「バットマン・ビギンズ」のビルはあくまで背景の一部だったが、WTCは映画のシンボルでもあるからだ。このためオリジナルの写真に関しても、ビルの各部分を、高い部分ではリフトに乗って非常に正確に撮影した。合計50万枚におよび写真が撮影されたという。また、STIGを作成する際には、全ての画像が均一な光のもとで捉えられている必要がある。「バットマン・ビギンズ」の場合には、各部分を異なった光のもとで撮影したため、後から画像処理によってこれを修正するという煩雑な作業が多くなった。今回は撮影画像の数が多いため、撮影時から全ての部分をできる限り同じような光（フラットなディフューズに近い光）のもとで撮影するように心がけられた。



煙がビルを包み込むシーンでは、ビルも煙も現実と寸分たがわぬリアリズムを要求された。レンダリング面では、特に影の表現において、レンダーマンによるレンダリングとDNB（ボリューム・レンダラ）によるレンダリングとの整合性が保たれるようにすることが最大の課題となった

Image Courtesy : Double Negative
10/7（土）日劇1ほか全国拡大ロードショー





STIG イメージは、通常のパノラマ・イメージと違い、その各部分が撮影時と同じ解像度の画像となっている。このため、環境マッピングの素材としてだけでなく、部分的に切り出して細部の形状やテクスチャの復元などといった幅広い用途でも活用できる。STIG イメージはHDR 画像となっているため、イメージベースド・ライティングに用いることもできる。画像はバットマン・ビギンズで用いられた STIG イメージ



上はブルーバックで前景の人間と車および少数の紙や破片を撮影したもの。下は背景のビルと多数の紙や破片をCGで作成して合成したもの。背景のビルやライティングはSTIG イメージを用いて復元されている



上は前景の人間をブルーバックで撮影したもの。下は背景の建物をCGで復元して合成したもの。CGの建物は、STIG イメージの一部を抽出して復元されている

STIGはビルの各部分の形状やライティングを復元するためにも用いられた。形状の復元はフォトグラメトリーな手法によって、ライティングの復元はイメージベースド・ライティングによって行われた。特にライティングに関しては、監督自身、過去に幾度となくCGでビルや街を作成した経験があったが、いずれの場合も監督の目から見ると、あまりにキラキラし過ぎた印象が強くフォトリアルとは言えないものだったという。今回は決してそのようなことのないようにという監督の強い要望に答えるために、際限のない思考錯誤が必要とされたそう。こうして作り出された9月11日早朝のシーン、大空に高くそびえるNYのビルの数々は、誰が見ても実写としか考えようのない見事な仕上がりとなっている。

WTCの悲劇

WTCの事件では、現在生存している人の中で、旅客機がビルに激突した瞬間を実際に目撃した人はほとんどいない。このためオリバーストーン監督も、あえてこれを描こうとはしなかった。映画の中で唯一ビルの上階で起きている悲劇を象徴しているのが、空中を舞って落ちてくる膨大な量の紙やコンクリートの破片だ。当初これらは実写で撮影することになっていた。しかし、このシーンでも背景のビルは全てCGで作成されている。実写

で破片を撮影した場合は、これらをCGのビルと合成する際に膨大な量の細かい破片のクロマ・キーを抜かなくてはならず、その作業負荷はかなり重くなる。このため実写で撮影する破片はごく少数にとどめ、その他は全てCGで作成することになった。ただし、このシーンでは監督のリアリズムに対するこだわりが強く、紙や破片が複雑に舞いながら落ちてくる様子を実写と違わぬリアリティで描くことを望んでいたという。

細かい破片の動きを描く手段として、最も一般的に用いられるのは、パーティクル・システムだが、パーティクル・シミュレーションの場合には位置の移動だけしかシミュレートできない。破片が「舞う」様子とリアルに描くためには、位置の移動だけでなく、中心軸の周りの回転もシミュレートしなくてはならない。そこで、ダブルネガティブ社は急遽、位置と回転の両者をシミュレートするシミュレーション・エンジン（剛体シミュレーション・エンジン）を開発した。このシーンでは、破片が舞う様子だけでなく、破片が周りの物体や逃げ惑う人々と干渉する様子も、剛体シミュレーション・エンジンをを用いて正確にシミュレートされている。

上記のシミュレーション・エンジンには、WTCのプロジェクト後に、毛や草などの弾性のあるカーブの動きをシミュレートする機能も加えられた。さらに現

在はこのシミュレーション・エンジンを、何万という人間を扱うことのできるバーチャル・スタント・システムと連動させる開発が行われているそうだ。

煙の表現

ダブルネガティブ社は、これまでも流体シミュレーションを駆使した煙の表現を幾度となく行ってきたが、WTCで必要とされた煙ほど広範囲に渡る大きなボリュームの煙を作成したことは、いまだかつてなかったという。オリバーストーン監督は煙に対して予想を上回るリアリズムを要求していたうえ、画面の大部分を占める煙は、単なる物理現象としてだけでなく、シーンを構成する絵画的な役割も担っていた。このため、監督の演出上の要請に応じて、その形や動きをフレキシブルに変える必要があった。ボリュームの大きな煙だけに、変更のあるたびにシミュレーション実行する作業負荷は非常に重い。そこでプロダクションに2ヵ月ほど前から、シミュレーションによってさまざまなパターンの煙のアニメーションを作成しておき、これらをライブラリーとして記録した。このライブラリーには、シミュレーションによって作成したアニメーションの各フレームにおける、各ボクセルの速度・密度・圧力・色・テクスチャなどが記録されている。実際にプロダクションに入ってから作業で



広域に渡る煙は、単なる物理現象としてだけでなく絵画的な意味合いも大きかった。演出上の要請にフレキシブルに応じられるように、流体シミュレーションによる前計算で算出されたライブラリーをモディファイして、演出に合った煙の表情を作り出す方法がとられた

は、これらのライブラリーに記録されている情報をもとにして、流体シミュレーションを行うことなく、演出上必要とされるあらゆるタイプの煙のアニメーションが作成された。

流体シミュレーションによる前計算の結果をモディファイして、演出に合った煙の表現を効率的に作り出すという試みは、ダブルネガティブ社にとって今回が初めてではなかった。

「ハリー Potter : 炎のゴブレット」では、煙とキャラクターが干渉するシーンが多かったため、シミュレーションで算出された煙の動きをキャラクターの動きに合うようにワープするツールが開発された。そして、今回新たに開発されたのは、時間軸に沿ったワープだった。時間軸に沿ったワープは、演出に応じて煙の動きの速さを効率的にコントロールするためのものだ。たとえば、シミュレーションの結果よりもゆっくりとした煙の動きにしたければ、シミュレーションを行ったフレーム（オリジナル・フレーム）同士の間に新たにいくつかのフレームを挿入する。煙のレンダリングでは、各ボクセル

の密度を用いてその色を決定する。したがって、新たに挿入したフレーム（ニュー・フレーム）において各ボクセルの密度を算出する必要がある。

時間軸に沿ったワープの最初のバージョンでは、ニュー・フレームに最も近いオリジナル・フレームで算出されていた各ボクセルの密度を、オリジナル・フレームで算出されている各ボクセルの速度をもとに算出した速度ベクトル場に沿って時間と共に動かしていくという方法をとっていた。これによって、オリジナル・フレームにおける各ボクセルの速度が、時間と共にその周りのボクセルへと伝播され、ニュー・フレームにおける各ボクセルの密度が算出される。しかしこの方法では、ニュー・フレームにおける速度は常に一定なため、最終的なアニメーションを見ると、フレームがオリジナル・フレームに達すると突然向きが変わってしまい不自然に見えることが多かった。そこで、最終バージョンでは、もう少し物理的に正確なワープの方法がとられた。

煙の動きを算出する場合、正確には各ボクセルの速度・圧力・密度などを未知数に

して流体の運動方程式を解く必要がある。だが、計算を効率化するため、通常はまず各ボクセルに密度は時間によって変化しないと仮定して流体の運動方程式を解き、各時間における各ボクセルの速度と圧力を算出する。こうして算出された各時間における各ボクセルの速度を用いて、流体の運動方程式よりはずっとシンプルな物理方程式を解きながら、初期設定されている各ボクセルの密度をアップデートする。これによって、各時間における各ボクセルの密度が算出する。最終バージョンのワープ方法では、流体の運動方程式を解くという最も計算負荷の重い工程を、オリジナル・フレームで算出されている各ボクセルの速度を補間する作業で置き換える。具体的にいうと、ニュー・フレームに最も近い幾つかのオリジナル・フレームで算出されている各ボクセルの速度を補間して、ニュー・フレームにおける速度ベクトル場を算出する。そして、その後の密度の算出は、物理方程式を用いて正確に行う。つまり、オリジナル・フレームで算出されている各ボクセルの密度を、物理方程式に基づいてニュー・フレームにおける速度ベクトル場でアップデートしながら、ニュー・フレームにおける各ボクセルの密度を算出していく。これによって、シミュレーションにひけをとらないリアルな煙の動きを効率的に作り出すことが可能になった。

煙のレンダリングは、ダブルネガティブ社のポリウムレンダラ (DNB) によって行われた。DNB はボクセル・ベースのポリウムレンダラで、シミュレーションによって算出された各ボクセルの密度をベースにその色を算出し、視点からのレイに沿って各ボクセルの色を足し合わせていく。ポリウムメトリックな物体の



VFX Supervisor :
Mike Ellis



Co-CG Supervisor :
Ryan Cook



R&D Supervisor:
Oliver James



Senior Technical
Director :
Graham Jack



Senior R&D
Developer :
Jeff Clifford



Compositor :
Gruff Owen



Senior
Compositor :
Adrian Banton

色の算出をプロダクション・ワークで行う場合、通常は空中の粒子が引き起こす光の減衰だけを考慮する場合が多いが、DNB ではオプションによって空中の粒子による光の散乱が作り出す光を計算することもできる。煙の場合にはこの散乱の割合が非常に大きく、散乱を考慮することがリアリズムのレベルの大きな向上につながる。このため、今回は煙の内部でのシングル・スキャタリングやマルチ・スキャタリングも計算された。

また WTC では、ビルや建物が煙に落とす影や逆に煙がビルや建物に落とす影も正確に計算する必要があった。ビルや建物が煙に落とす影を算出するための情報はレンダーマンから DNB に渡される。逆に煙がビルや建物に落とす影を算出するための情報は DNB からレンダーマンに渡される。したがって、レンダーマンが算出するデータと DNB が算出するデータとの間でしっかりと整合性がとれるようにすることが最大のチャレンジとなった。さらに、今回の煙のように 32 ビットではとても表しきれないような大きなデータに対応するため、DNB による 64 ビットでの演算も可能となった。また、数多くのレンダリング・パスをアーティストが扱いやすくするために、DNB にはパス・マネージメント・システムも加えられた。WTC のプロジェクトを通して DNB そのものも大きな進化を遂げたようだ。

9 月 12 日の朝

ダブル・ネガティブ社が担当したもう 1 つの重要な VFX が、地下から地上へと主人公の 2 人が引き上げられるシーンと、被災地が迎えた 9 月 12 日の朝のシーンだった。特に、上空からヘリコプターが近づき TWC の残骸とその周辺の風景を映し出す 9 月 12 日のシーンでは、ヘリコプター以外は全て CG で作成されている。このため、ヘリコプターをどのように飛ばすかということも、CG によるプレビジュアライゼーションによって詳細



9 月 12 日の朝のシーン。このシーンでは全てを 3D で復元するのではなく、必要最低限の要素を 3D で作成し、その他に関しては、実写のプレートに手書きでディテールを補ったものを視点方向から射影するという方法がとられた。データ量を削減できるだけでなく、絵画的なディテールを補うためにはこの方法が適していたのだという

に検討された。シーンの作成においては、2.5 次元的な手法が主に用いられた。2.5 次元的とは、一つ一つ 3D の物体を復元して写真をマッピングするのではなく、かなり広い領域を撮影した写真に手書きでディテールを加えたものを、視点から射影する方法を指している。

データ量を最小限にとどめられるというだけでなく、このシーンのように絵画的な意味合いが大きい場合には、このような形でディテールを補った方が効果的だったからだ。

アメリカの VFX と比較してイギリスの VFX は歴史的にも 2D リードの傾向が強い。ダブル・ネガティブ社の場合には、イギリスの VFX プロダクションの中でも例外的に 3D のポジションが高い。それでも今回のプロジェクトのように CG で復元するシーンが非常に広範囲に及び、なおかつそれらが絵画的な要素を含んでいる場合には、パイプラインの主導権は 2D が握っていた。3D はそれが不可欠な部品に関してのみ用い、その他の要素は最終的な絵の中で 2D によって補いながら仕上げていくというのが全体の流れだった。ただし、部品とはいえ高度な技術を駆使した作り出された 3D の要素には、他の VFX プロダクションが作り出し得ないような華があり、これがダブル・ネガティブ社の VFX の特徴ともなっている。

また、今回のプロジェクトでは作業のリアルタイム性も強く意識された。プレビ

ジュアライゼーションをはじめとして、VFX そのものも、これまでのポスト・プロダクションという役割から、撮影や演出と同時進行で進められていく必要性が大きくなってきたからだ。監督と VFX スーパーバイザーは LA にいるのに対して、ダブル・ネガティブ社はロンドンで作業を行う。にもかかわらず、監督は各ショットをリアルタイムにチェックすることを望んでいた。そこでダブル・ネガティブ社は、LA の監督と VFX スーパーバイザーのもとに Nucoda という 2K のプレイバック・システムが送り込まれた。このシステムを用いると、2 つの遠隔地で同じショットを同じタイムラインでプレイバックすることができる。Nucoda は、イギリス内ではこれまでも、撮影と VFX の作業を遠隔地で行う場合に活用されてきたようだが、海を隔てた 2 つの大陸を結ぶために用いられたのは今回が初めてだったようだ。そして、これはダブル・ネガティブ社が、海を隔ててハリウッド映画の VFX をこなしていく上で不利とされていた問題点を解消するため、大きな役割を果たした。ハリウッドとは一味違ったユニークで奥の深い技術開発と、イギリスの伝統的なパイプラインとのバランスのとれた融合が、今回の VFX の成功につながったといえるのだろう。

Noriko Kurachi