

# 戦車の発砲シーンにおける流体表現の制御法

The control method for fluid expression in tank firing scenes

木内 俊冴

指導教員 菊池 司

東京工科大学 メディア学部 メディア学科

キーワード：3DCG, 流体, シミュレーション, 戦車, Houdini

## 1. はじめに

近年、映画やアニメなどの映像作品において、シミュレーションを用いた映像表現が多くみられる。その中でも、火や煙、水などの流体を表現可能な流体シミュレーションは、実際に撮影することが難しいような事象でも再現できるため、映像制作において欠かせない要素になっている。しかし、流体シミュレーションはわずかな条件の変化でも結果が大きく異なってしまふことは珍しくなく、不慣れなユーザーがそれを思い通りに制御することは難しいため、制作に多くの時間を費やしてしまうという側面がある。

本研究では、戦車の発砲シーンにおける流体に着目し、効率的かつ容易に流体を制御する手法を提案することで、制作にかけける時間を削減させることを目的とする。

## 2. 関連研究

流体のメカニズムを視覚化する研究は1960年代から行われてきた。それが3DCGとしてエンタテイメント分野で発展していったのは1990年代後半であり、流体シミュレーションの制御をより効率的かつ容易にするための研究は盛んに行われてきた。

Treuilleらは、流体のなかでも特に煙に着目し、ユーザーがキーフレームを手動で指定することで、煙を理想の形状に制御する手法を提案している。

早川らは、流体シミュレーションにおける可制御性の重要性を指摘し、流体シミュレーションへの深い知識を必要としないリアルタイムでのハン

ドジェスチャーによる流体制御システムを提案している。

これらの研究から、不慣れなユーザーにとって流体シミュレーションを用いた映像表現が容易ではないため、可制御性の高い流体シミュレーションへの需要が推察できる。

## 3. 流体シミュレーションのメカニズム

本研究では3DCGソフトウェア「Houdini」を用いてシミュレーションを行う。HoudiniではPyro Solverという仕組みを用いて火や煙のシミュレーションが計算される。指定した空間内で、いくつかの要素をそれぞれタイムステップごとに計算し、煙の密度や温度などを求める。Pyro Solverで計算に用いられる主な要素は以下のとおりである。

- a) velocity：流体の瞬間速度
- (b) density：煙の密度
- (c) temperature：流体の温度
- (a) flame：燃焼物の形状と寿命
- (b) divergence：流体の膨張と収縮

## 4. 戦車の発砲シーンの調査

戦車の発砲シーンを3DCGで表現するには、砲弾が発射される仕組みや、それに伴って発生する流体の発生について理解を深める必要があると考え、調査を行うこととした。

戦車の砲弾は、徹甲弾や榴弾など様々な種類があるが、発射されるメカニズムが大きく異なるこ

とはない。薬室に装填された砲弾は、薬莖内にある発射薬が閉所で燃焼したことによるガス圧で推進力を得て、発射される。

砲弾の発射に伴い発生する炎を発砲炎、煙を硝煙という。留意しておきたいのは、砲弾の発射に利用した炎が、そのまま発砲炎になっているわけではないということである。では、なぜこのような現象が起こるのだろうか。

一般的に火という現象には、熱と酸素、そして可燃物の三点が必要である。すなわち発砲炎が発生している状態の時、これらの要素が欠けていないということだ。

砲弾の発射に伴い、不完全燃焼状態の発射薬が噴出する。これが可燃物の役割を果たし、高温高圧の外気に触れることで燃焼する。これが発砲炎および硝煙の正体である。

発砲炎は、高温で燃焼したことにより大きく膨張したのち、高温ガスなどの空気の塊によって砲弾の進行方向に押し出され、形状が変化する。

発砲炎の発生からごくわずかな時間が経過すると、外気で冷却されるとともに周囲の酸素が不足するため、火に必要な三要素が欠けたことにより消滅する。

以上の現象を理解した上で制作に取り組んだ。

## 5. 提案手法

前述したように、本研究では 3DCG ソフトウェアの Houdini を用いて研究を行う。Houdini を選択した大きな理由としては、プロシージャルな制作が行えるという点がある。プロシージャルとは、如何なる状態にあってもあらかじめ準備された数式や法則に従った処理を行うという意味である。すなわち、一度仕組みを作ってしまうえば異なるシーンにも流用ができるということだ。

ユーザーが形状や色を制御可能な発砲炎や硝煙のシミュレーションに加え、流体内で微細粒子同士の摩擦により発生する稲妻や火花、発砲時の衝撃波などの誇張表現を追加することで、さらに魅力のある映像の制作に対応できるようにする。各パラメーターを Houdini 上のユーザーインターフ

ェースで変更することにより、シーンに合わせて多彩な映像表現が可能になることを目標とする。

## 6. 進捗と課題

現段階では、発砲炎と硝煙の初速と発生する角度、色をユーザーの任意で変更でき、流体をある程度は制御できるようになっている。

今後の課題としては、発砲炎と硝煙の細かい調整と、砂塵や稲妻、火花などの誇張表現の追加が挙げられる。さらにユーザーによる可制御性を上げるため、直感的にわかるパラメーターを追加する。