

バックドラフトを含む爆発シーンの制作

Production of explosion scenes including backdraft

赤星 侑輝
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, VFX, 流体, バックドラフト

1. はじめに

近年、映画やアニメ、ゲームなどのエンターテインメントコンテンツにおいて、3次元コンピュータグラフィックス(以下 3DCG と称する)を用いて表現する場面が多く存在する。3DCG の技術が進歩することで、背景モデルやビジュアルエフェクト(以下 VFX と称する)に対して高いクオリティーが要求されるようになっている。その中でも、火災や津波などの自然現象を始めとした流体を、実際に撮影することは極めて困難であるため、映像分野では 3DCG でフォトリアルに VFX を表現する手法が昔から研究されてきた。

そこで、本研究では区画火災において見られるバックドラフトの様子を、安全且つ自由に制御できる手法を提案し、制作したバックドラフトを含む爆発シーンを制作することを目的とする。

2. 関連研究

工藤らは、6畳間の 1/3 程度の大きさの小型区画でバックドラフトの発生実験を行った。バックドラフト発生前に 21 秒から 9 分 55 秒の間、肉眼で火が確認できない時間帯があることを明らかにした。

Jinxiang らは、バックドラフトの発生条件について、3つの異なる形状の開口部を持つ小型区画で実験を行った、バックドラフトが発生するために一番重要な条件は、換気、次いで着火位置、ガスの漏洩速度であることを明らかにした。火災発生時から窓

の開口部が大きいと、バックドラフト発生前の燃焼が十分であり、バックドラフトの発生条件が満たされなかった。

3. バックドラフトが発生する仕組み

火災が長時間続くと、気密性の高い空間において一時的な酸素不足により、不完全燃焼が起こる。この酸素不足状態により、火災の燃焼が不完全になり、鎮火したかのような状態になる。この状態になると、区画内に可燃性ガスが充満し、隙間から濃い黒煙が発生するなどの兆候が見られるようになる。気密性の高い区画内で、不完全燃焼により高エネルギーの未燃焼可燃物を含んだ火災は、燃焼を待ち構えている。消火活動などの外力によって不用意にドアが開けられたり、窓が割られたりすることが原因で開口部が生じると、区画外の新鮮な酸素が区画内に入り込み、可燃性ガスが爆発的に燃焼する。この様々な要因によって酸素が急激に供給され、爆発的に発火し、可燃性ガスが外部へ飛び出す現象をバックドラフトと呼ぶ。

4. 提案手法

本研究では、流体力学における支配方程式である以下の式(1)のナビエ・ストークス方程式を省略した以下の式(2)のオイラー方程式と式(3)の連続の式を解き、3DCG ソフトウェア上でシミュレーションを行う。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{f} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (3)$$

式(1)のナビエ・ストークス方程式は左から移流項、圧力項、粘性項、外力項を表している。 ρ は流体の密度、 \mathbf{u} は速度場、 ν は動粘性係数、 p は圧力、 \mathbf{f} は外力である。移流項は速度場の非線形性を示し、流体の動きを表している。これにより、流体の速度場が流れや渦の発生、乱流などの複雑な挙動を表現することができる。圧力項は発散を制御して圧力を均一に調整し、流体内の質量が変化しないように制御している。これにより、物理的に現実的な流体の挙動を表現することができる。粘性項は速度場の滑らかさや減衰を表現する。この粘性項を無視した方程式をオイラー方程式と呼び、CG制作において、処理負荷の軽減や写実的な表現のために、意図的に省略されることがある。本研究ではナビエ・ストークス方程式から粘性項を省略した式(2)のオイラー方程式を解く。式(3)の連続の式は流体力学における流体の質量保存則を確保する式。空間から突然流体が出現したり、消滅したりしないことを定義している。

上記の式(2)と式(3)を格子法と呼ばれる手法で解く。格子法とは、物理空間を有限の格子に分割し、節点に情報を配置することでシミュレーションを行う手法である。

5. シミュレーション結果と考察

シミュレーション結果を以下の図1に示す。

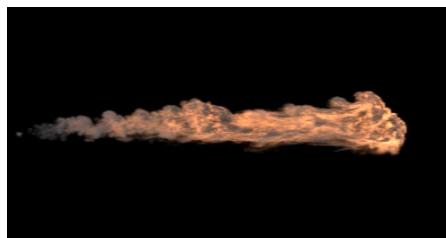


図1 シミュレーション結果

バックドラフトの動きと大まかなビジュアルは再現することができた。しかし、火災の現場で実際に発生するバックドラフトのビジュアルとは差異がある。火災発生場所の環境、区画内の物質の材質など様々な要因を考慮することで、より写実的なバックドラフトに近づけられると考える。

6. おわりに

本研究では、バックドラフトの様子を安全且つ自由に制御できる手法を提案し、制作したバックドラフトを含む爆発シーンを制作することを目的とした。現時点は、オイラー方程式と連続の式を解き、バックドラフトのシミュレーションを行った。

今後の課題として、制作したシミュレーションを使用し爆発シーンを制作すること、バックドラフトの独特的な前兆を実装する方法を考察し、爆発シーンに含めることが挙げられる。

7. 参考文献

- [1] 工藤祐嗣, 早坂洋史, 橋本好弘, 上田孝志, “小型区画火災でのバックドラフトと関連現象” Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering, Vol50 No.1
- [2] Jinxiang Wu, Yingting Zhang, Gou Meijuan Yan, Enyu Wang, Liansheng Liu,(2011). Experimental research on gas fire backdraft phenomenon. Procedia Environmental Sciences(pp1542-1549)
- [3] 札幌市. “フラッシュオーバー・バックドラフトの再現実験”. 札幌市 . 2018/03/05. <https://www.city.sapporo.jp/shobo/shokai/gakko/labo/movie/flashover-backdraft.html>, (参照 2023-07-25).