

キャッシュデータを活用した効率的な複数発生源の煙シーン表現

Efficient multiple source smoke scene representation using cache data

高瀬 伸宏
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 菊池研究室

キーワード：流体シミュレーション, 3DCG, 煙, キャッシュデータ, 再計算

1. はじめに

近年, ゲームや映画, アニメなど, 様々な分野で 3 次元コンピュータグラフィックス (以下, 3DCG) を扱うことが多い. その中でも特に煙や爆発といった現実で再現することが困難な表現に扱われるが, そのような流体シミュレーションは非常に計算コストが高い問題があり, 制作環境が整っていない場合, 大規模な 3DCG 表現は非常に困難である. また, 近年では高解像度でのエフェクト表現が求められる場面が多く, 精密な煙や爆発を生成する必要があるため, 計算コストの高さが問題となっている.

本研究では, 砂嵐や雲海のような大規模な煙表現を効率化するために, 部品となる煙のキャッシュデータをいくつか用意し, それらをクリエイタ自身が自由に配置することで, 計算する範囲を縮小し, 計算コストを下げる事を目的とする.

2. 関連研究

煙のプリセットをクリエイタが自由に配置し, 大規模な煙の表現をする手法の先行研究[1]として, 菊池らは積雲の部品となるプリセット “Cloud Shape Preset (CSP)” を生成し, それらをクリエイタが 3 次元空間内に自由に配置する事によって大規模な積雲を生成する手法を提案した. 本研究は先行研究に加え, 重なり合った煙のみを再計算することにより, 互いが混ざり合う表現を可能にし, 最小限の計算かつリアルな表現を目指す.

3. 提案手法

煙のキャッシュデータを 3 次元空間内に設置し, それぞれのキャッシュデータが重なっている部分のみを再計算することにより, 必要最低限の計算で大規模な煙シーン表現を行う. その際の再計算で用いる流体シミュレーションの基礎方程式ナビエ・ストークス方程式は以下のようになる.

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

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

式(1)では左辺二項目から, 移流項, 圧力項, 粘性項, 外力項を示す. ここで, \mathbf{u} は流速, ν は動粘性係数, ρ は流体の密度, p は圧力, \mathbf{f} は外力を示す.

式(2)では流体が非圧縮性である事を条件としている. 3DCG 流体の主な対象は音速より速度の遅い流体現象であり, その場合流体は非圧縮に近似することができ, この拘束条件が組み合わさることによりナビエ・ストークス方程式の解を求めることができる.

また, 乱流などのディテールを防ぐため, 粘性項の計算を省略することが多い. そのため, 本研究ではナビエ・ストークス方程式から粘性項の計算を省略したオイラー方程式を用いて再計算を行う. オイラー方程式は以下のようになる.

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{f} \quad (3)$$

4. エミッター範囲の指定

再計算に必要となるエミッターを以下の順序で指定し, 図 1 のようにする.

- ① 2つの煙の計算範囲 A と B のブーリアン積を求め, これを C とする.
- ② C を δ だけ縮小させ, 新たな範囲 D を求める.
- ③ C から D を除去し, 範囲 E を求める.

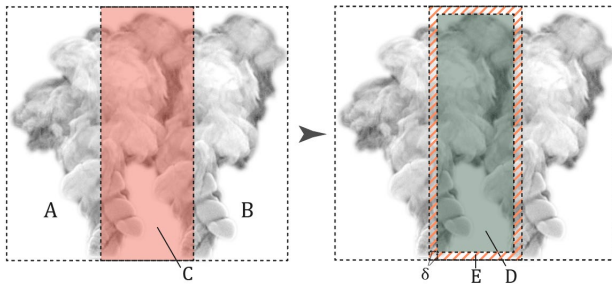


図 1 エミッター範囲の指定方法

この工程で指定したエミッター範囲 E の元の密度 $\rho(x, t)$ を新たな密度 $\rho'(x, t)$ とし, 式(4)の様に再計算のための新たなエミッターとして指定する.

$$\rho'(x, t) = \rho(x, t) \text{ for } x \in E \quad (4)$$

5. 計算結果

エミッター範囲を指定した後, 範囲内の密度を元に再計算を行った様子が図 2 である.

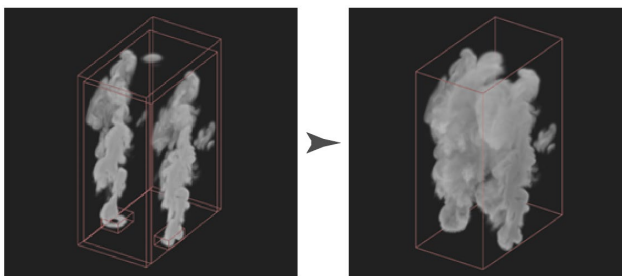


図 2 エミッター (左) から再計算をした様子

再計算された煙を元のキャッシュデータと合成することによって, 図 3 のような結果が得られる. 左が重なった部分のみを再計算した煙であり, 右が全てを計算範囲としたものである. これにより, 計算する範囲は煙同士が重なり合っている部分のみとなり, その他はキャッシュを保持しているため, 計算コストを下げながら, 現実の挙動に近いものを再現することができる.

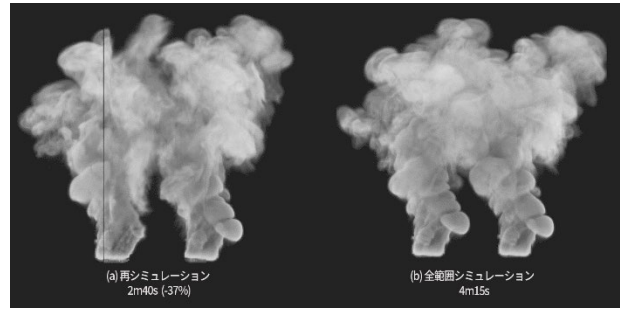


図 3 計算結果の比較

単純に計算コストのみを比較すれば 37%効率化することができた. しかし, 計算が欠損した部分が生じてしまい, 現状では見た目のクオリティが大きく劣化してしまった.

6. 考察と今後の展望

計算が欠損した要因として, 境界線のような欠損部分が生じていることから, エミッター範囲指定の不備が考えられる. また, 再計算工程において, 速度場を考慮せず, 密度のみを元に再計算を行っていたことも原因と考えられる.

今後の展望として, エミッター指定範囲の仕方の見直しと, 速度場を考慮した再計算の見直しの 2 点元に加えて, 佐藤らが提案した非圧縮性を保った形状変化[2]を加えることがあげられる. これにより, 風や障害物による形状変化が可能になり, 表現の幅がさらに広がると考えられる.

7. 参考文献

- [1] Tsukasa KIKUCHI, Chang-hun Kim. 2008. Controllable Large-Scale Cloud Animation for Outdoor Scene. 日本デザイン学会デザインシンポジウム 2008 論文集. 515-520
- [2] Syuhei Sato, Yoshinori Dobashi, Yonghao Yue, Kei Iwasaki, Tomoyuki Nishita. 2015. Incompressibility-Preserving Deformation for Fluid Flows Using Vector Potentials. The Visual Computer (Proceedings of CGI 2015), Vol. 31 (6-8), pp.959-965