

波の瞬間凍結ビジュアルシミュレーション

Instant freeze visual simulation of waves

山根 来騎¹⁾

指導教員 菊池 司¹⁾

1) 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：瞬間凍結，波，FLIP，流体シミュレーション，CG

1. はじめに

近年，コンピューターグラフィックスの需要が高まっている中，3DCGで多様な自然現象を再現するコンテンツが増えた。実際に大規模な自然現象を観測することは非常に困難であり，自然現象で起こるような流体の瞬間凍結となると，観測することは，ほぼ不可能である。

実際に，海の水面が緩やかに凍っていく現象はよく見るが，津波のような挙動が大きい現象の瞬間冷却は，人間の手が加わっても実現することはできない。そこで本現象を，シミュレーションし，プロセーショナルに構築することで波の瞬間凍結の観測を可能にすると考える。また瞬間凍結の表現法は少なく，3DCGの分野で有益と考える。

これらのことから本研究では，流体である，波の瞬間凍結ビジュアルシミュレーション法を提案する。

2. FLIP 法による瞬間凍結シミュレーション

本研究で使用される，瞬間凍結のシミュレーションは流体の形状をパーティクルベースで(Fluid-Implicit-Particle 法，以下 FLIP 法)で制御している。FLIP 法の支配方程式であるナビエ・ストークス方程式は以下のようになる[1]。

$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + (\boldsymbol{v} \cdot \nabla) \boldsymbol{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \boldsymbol{v} + \boldsymbol{F} \quad (2)$$

ここでは， \boldsymbol{v} は流体速度， ν は動粘性係数， ρ は流体密度， p は圧力， \boldsymbol{F} は外力である。

式(2)は左から，移流項，圧力項，粘性項，外力項となる。一般的な流体シミュレーションはこれに加え式(1)のように流体が常時，非圧縮であることが条件つけられる。多くの流体は速度が音速よりも小さいことが多くみられ，流体は非圧縮であると近似できる。これらを踏まえて FLIP 法の支配方程式である，ナビエ・ストークス方程式と非圧縮の拘束条件を考慮することで，流体シミュレーションは表現することを可能とする。本研究での瞬間凍結シミュレーションでは，粘性項の制御によってパーティクルの一つ一つを速度 0 にし，凍結表現を行う。

3. 提案手法

本研究で提案する波の瞬間凍結シミュレーションは，レイノルズ数が $Re < 1$ の関係でないとならない。ここで Re は，レイノルズ数と呼ばれる無次元数である。

レイノルズ数は次の式のような関係を持つ。

$$\frac{\text{慣性項}}{\text{粘性項}} = Re \quad (3)$$

粘性項の値を大きくすることで，粘性力と圧力傾度力が釣り合い時間経過後の流体の挙動が確認できる。結果，パーティクルの速度は 0 になり流体が凍結した表現を行うことができる[2]。

凍らせる対象である、FLIP 法で制御した波が持つパーティクルの粘性項を大きくし Re を 1 より小さくする必要がある。そこで粘性項の値をパーティクルに転写するためにボリュームデータを用意する(図 1)。

次にボリュームデータが波形の最頂点達する位置まで高さを上げ、全体を囲うように調整する。波形が持つパーティクルを干渉させることで波形の挙動を停止させる(図 1)。

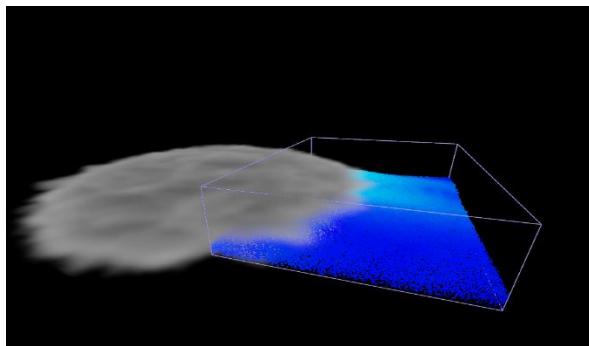


図 1 波形とボリュームデータの干渉

4. 干渉後の結果

ここでパーティクルの速度が 0 になっているかを確認するため干渉後の波形の最頂点を確認する必要がある。

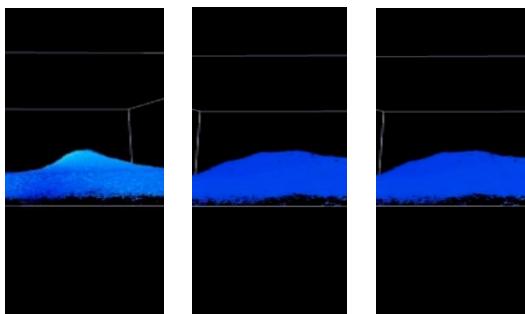


図 1

図 2

図 3

左から 104 フレーム(図 1), 128 フレーム(図 2), 152 フレーム(図 3)である。明度が高い青色のパーティクルは速度ベクトルを有し、運動し続ける。明度が低い青色のパーティクルは速度 0 で挙動はない。本来なら波形は一定の方向に速度ベクトルを有し、運動し続けようとするが、時間経過を見ると 128 フレームから 152 フレームの間で完全に挙動がないことが確認できる。

5. レンダリング結果

シミュレーション時の粘度の値を、マテリアルに反映させている。左半分が干渉により、凍結している。

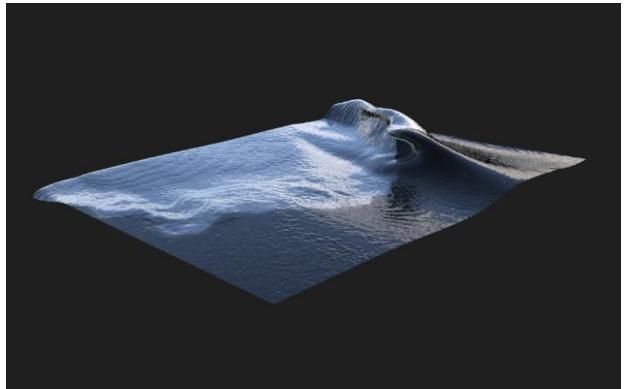


図 4 現段階の成果画像

6. 結果と考察

波形と粘性のデータを有した、ボリュームデータの干渉により波形の大部分の挙動を停止させ、凍結すること確認できた。しかし、すべてのパーティクルが速度ベクトル 0 になるわけではなく、ボリュームデータの干渉後、速度ベクトルが 0 にならず運動し続けるパーティクルが存在した。

今後は、ボリュームデータの干渉後に運動し続けるパーティクルを完全停止させるために、ボリュームデータの範囲や粘性のパラメータの変動で結果に変化が確認できると期待させる。

参考文献

[1] Bridson Robert, Matthias Ronald, “Fische Muller FLUID SIMULATION”, SIGGRAPH, pp. 1-87, July 2006

[2] 加藤 祐樹, 伊藤 智也, 菊池 司, ボリュームデータを用いた伝熱に基づく流体の瞬時相変化シミュレーション, アジアデジタルアートデザイン協会国際ジャーナル, 2021, 第 25 卷, 第 2 号, pp. 22-29