

## 領域削減の自動化による Wavelet Turbulence の効率化

上西 直人<sup>†</sup>佐藤 周平<sup>‡</sup>和歌山大学システム工学部<sup>†</sup>株式会社ドワンゴ UEI リサーチ<sup>‡</sup>岩崎 慶<sup>††</sup>西田 友是<sup>‡‡</sup>和歌山大学システム工学部<sup>††</sup>株式会社ドワンゴ UEI リサーチ / 広島修道大学<sup>‡‡</sup>

## 1. はじめに

コンピュータグラフィックスの分野において自然現象のシミュレーションは重要な研究課題の一つとなっている。様々な自然現象の中でも、煙のシミュレーションは映像制作などに用いられている。煙の細部の特徴を描写するには、高解像度シミュレーションが必要となるが、計算コストが高いという問題がある。Kim らは、高解像度シミュレーションの計算コストを抑えるために、低解像度シミュレーションに乱流の特徴である渦を追加することで煙の見た目の高解像度化を行う Wavelet Turbulence を提案した[1]。しかし、Wavelet Turbulence はシミュレーションの計算領域全てに対し高解像度化を行っているため、煙が存在しない領域や視点からは見えていない領域など、高解像度化する必要のない領域にまで高解像度化処理を行っているという問題がある。

そこで本研究では Wavelet Turbulence の高解像度化領域を自動で削減することで、計算コストを削減し、効率化を図る手法を提案する。

## 2. Wavelet Turbulence

## 2.1. Wavelet Turbulence の概要

Wavelet Turbulence は、低解像度の乱流シミュレーションに、ノイズを用いて生成した渦を配置することで、高解像度化を行う手法である[1]。低解像度シミュレーションでは、生成できる渦の大きさに限界があり、詳細な渦が消失してしまう場合がある。Wavelet Turbulence では低解像度シミュレーションの速度場から、ウェーブレット解析を用いて渦の保有エネルギーを周波数帯域毎に算出する。渦の保有エネルギーに対応した大きさの渦を配置することで、低解像度シミュレーションの挙動を変化させることなく高解像度化を行うことができる。

Efficient Wavelet Turbulence by Automatic Reduction of High Resolution Grids

<sup>†</sup>Naoto Uenishi, <sup>††</sup>Kei Iwasaki, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

<sup>‡</sup>Syuhei Sato, <sup>‡‡</sup>Tomoyuki Nishita, UEI Research, DWANGO Co., Ltd / <sup>‡‡</sup>Hiroshima Shudo University

## 2.2. Wavelet Turbulence の流れ

まず低解像度シミュレーションの速度場から渦の保有エネルギーを計算し、ウェーブレット解析を用いて帯域毎のエネルギー割合を計算する。その後ノイズを貼り付けるため、テクスチャ座標の移流計算と、高解像度に合わせた線形補間を行う。最後に帯域毎の渦の形状を評価し、エネルギーと合成することで高解像度な乱流シミュレーションを生成することができる。

## 2.3. Wavelet Noise

Wavelet Turbulence で用いるノイズは Wavelet Noise を用いる[2]。Wavelet Noise はランダムノイズから高周波成分のみを抽出したもので、従来のノイズを用いた際に発生するエイリアシングや詳細な渦の消失を抑制することができる。生成する手順は、まずランダムノイズを用いたノイズを作成し、半分にダウンサンプリング、さらに元の大きさにアップサンプリングしたものを生成する。この処理は元のノイズをぼかす作業となり、低周波成分のみが存在するノイズが生成される。最後に元のノイズとぼかしたノイズの差を求めることで、Wavelet Noise が生成される。

## 2.4. Wavelet Turbulence の問題点

Wavelet Turbulence ではシミュレーションの速度場から高解像度化を行う。この時、視点から見えていない領域にも計算を行っているため、無駄な計算が発生してしまう。

## 3. 提案手法

## 3.1. 提案法の概要

提案法では、障害物などにより視点から見えない領域を判定し、高解像度化を行わないことで計算時間の削減を図る。視点から見えない格子を判定するために、本研究ではシャドウマッピングを適用する。シャドウマップとは光源から最も近い物体までの深度値を記録したもので、影をレンダリングする際になどに用いられる。シ

シャドウマップの生成の様子は図1のようになる。

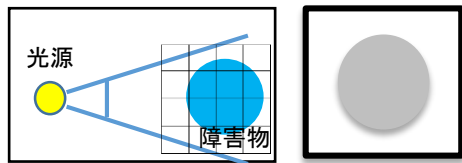


図1. シャドウマップの作成環境と作成されるシャドウマップ

光源を視点とみなしシャドウマップを生成することで、視点から障害物までの深度値がシャドウマップに格納される。これを利用し、視点からのシャドウマップを Wavelet Turbulence の実行前に作成、影と判定される領域における高解像度化処理をスキップすることで、自動的な高解像度化領域の削減を図る。

### 3.2. 提案法の処理の流れ

まず、煙をレンダリングする環境において視点からのシャドウマップを作成する。作成したシャドウマップに従って、格子毎に深度値の比較を行う。格子は立方体であり、1つにつき8個の頂点（格子点）を持つ。そこで各格子の持つ8個の格子点全ての深度値がシャドウマップに格納されている深度値よりも大きい場合、該当する格子の高解像度化処理をスキップする。ここで削減される格子が持つ格子点を可視化した例を図2に示す。左の立方体が視点位置であり、中央の球が障害物、小さな黒点が可視化された格子点である。

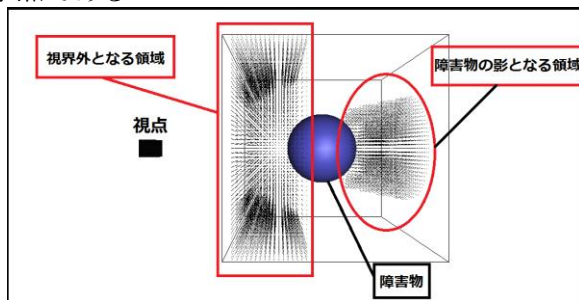


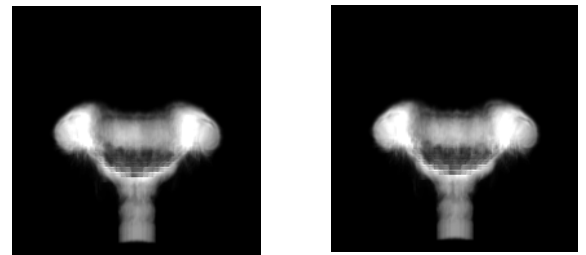
図2. 削減判定された格子点

## 4. 結果

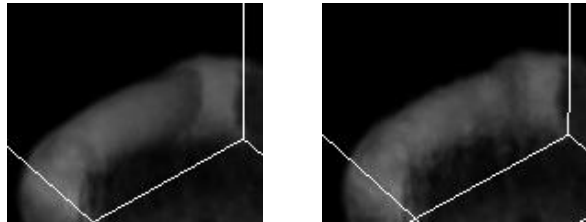
提案法の結果を図3に示す。実行環境は、Intel Core i7-4790 3.6GHz, 16GB RAM を搭載したPCで、格子数 $48^3$ の空間でのシミュレーションと、 $192^3$ の高解像度グリッドに対して Wavelet Turbulence を実行している。

全ての格子に対し高解像度化を行ったものと、提案手法を実装した比較を図3に示す。シミュレーション環境は障害物である球を中心に置き、

その真下から煙が噴出するように設定している。



(a) 提案手法  
視点からの煙の密度を可視化



(c) 提案手法  
視点から見えない領域の煙の比較

図3. 領域削減による高解像度化への影響比較

高解像度化領域を削減したもの（図3(a)）は全領域を高解像度化したもの（図3(b)）と比較して、視点からの差異はほとんど見られないが、障害物の裏側の部分の煙は渦が追加されておらず、高解像度化されていないことが分かる。全体の格子数110,592個に対し削減された格子数は22,834個、実行時間については領域を削減したものが1ステップ約6.19秒、全領域を高解像度化したものが1ステップ約6.56秒となり、約20%の領域を削減した上で300ステップシミュレーションを行った場合、提案法により約2分実行時間が短縮される結果となった。

## 5. まとめ

本論文では、シャドウマップを用いた深度値比較により高解像度化領域を自動的に削減することで Wavelet Turbulence の効率化を図る手法を提案した。今後の課題としては、提案手法の最適化を図り、さらに計算時間の短縮を行う考えである。また、視点から見えている空間でも、煙が存在する空間のみ高解像度化を行うなどの処理を追加することも挙げられる。

## 参考文献

[1] T. Kim et al., Wavelet Turbulence for Fluid Simulation, ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3, pp. 50:1-50:6, 2008.  
[2] R. L. Cook et al., Wavelet Noise, ACM Transactions on Graphics, Vol. 24, No. 3, pp. 803-811, 2005.