

拡張サーフェルを用いた砕波の3次元アニメーション

小野 佳織 藤代 一成[†] 竹島 由里子[†] 越塚 誠一[‡]

お茶の水女子大学理学部情報科学科

お茶の水女子大学大学院人間文化研究科[†] 東京大学大学院工学系研究科[‡]

1. 背景と目的

コンピュータグラフィックス(CG)の分野において、自然現象の写実的な表現は重要な課題の一つである。なかでも砕波は、動きの過程で形状が複雑に変化し不連続性が現れるため、表現の最も困難な現象として知られている。

従来の代表的な砕波表現の研究では、連続体と不連続体を同時に表現するため、サーフェスやパーティクルなどの異なる方法を組み合わせる場合が多い[1]。しかしこの方法では、それぞれに異なるレンダリング方法が必要となるため、統一的な表現が困難である。統一的な表現が可能な方法としては、メタボール[2]があげられる。しかし、しぶきの粒子感を出すには多数のメタボールプリミティブが必要であり、抽出される等濃度面の表現に要するパッチ数も無視できない。

統一的な表現を可能にし、さらに計算量の軽減を考慮した砕波表現手法の一つとして、檜山らによるポイントベース表現[4]があげられる。この方法では、砕波の物理学的モデリングに MPS 法[3]、レンダリングに拡張サーフェル[4]を用いる。モデリングとレンダリングの双方にポイントベース表現を使用することで統一的な処理を可能にした。本研究は、このポイントベース表現を基本とする。

砕波の3次元シミュレーションは複雑な計算が必要であり、容易には行えない。そこで本研究では、2次元のシミュレーション結果を利用して疑似3次元のモデリングを行う。そして拡張サーフェルによりレンダリングを行い、砕波の3次元アニメーションの作成を試みる。

2. 先行研究：砕波のポイントベース表現

2.1 モデリング

波のモデリングには、数値流体力学の分野で自由液面の表現に有効とされている MPS 法[3]を用いた。

MPS 法は格子生成の煩雑な作業を必要とせず、流体を粒子の集まりとしてとらえ、粒子間の相互作用を計算することで、流れのシミュレーションを行う。粒子の集合で表されているため、しぶきと水面のうねりの両方を区別することなく計算できた。

2.2 レンダリング

砕波のレンダリングには、サーフェル[5]を発展させ、個々のプリミティブに半径情報を格納した拡張サーフェル[4]を用いた。オリジナルのサーフェルが連続体を表現するのに対し、拡張サーフェルでは異なる半径のプリミティブを用いるため、連続体だけでなく不連続体も表現できる。

拡張サーフェルの属性である色と半径は、深さや近傍の粒子数により設定した。粒子が深いところにある場合は青色を濃くし、しぶきは全反射が生じて白く光って見えると仮定した。ある粒子の近傍に多数の粒子が存在する場合、その粒子をうねりと判定し、粒子半径を大きく設定した。それにより、隣接する粒子と連結し、連続体が表現された。一方、近傍に粒子がない場合はしぶきと判定し、粒子半径を小さく設定して不連続体を表現した。

しかし、MPS 法で得られた点の半径情報を変化させると、しぶき部分の体積が減少したように見えてしまう。そこで、粒子の半径を小さく設定したところでは、近傍に小さな粒子をランダムに複数個発生させた。

先行研究による、水柱崩壊の2次元シミュレーションデータのレンダリング結果を図1に示す。



図1：砕波のポイントベース表現

Three-Dimensional Animation of Breaking Waves Using Extended Surfels

Kaori Ono · Department of Information Sciences, Ochanomizu University

[†]Issei Fujishiro, Yuriko Takeshima · Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

[‡]Seiichi Koshizuka · Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

3. 3次元アニメーションの生成

3.1 モデリング

MPS 法により得られた鉛直断面上の 2 次元シミュレーションデータを複数枚用いて、擬似 3 次元のモデリングを行う。それぞれのタイムステップにおいて、複数の 2 次元シミュレーションデータを奥行き方向に平行に配置する。うねりの形状は奥行き方向に類似性をもつ。このため、うねり部分に関しては、平行補間[7]によりその間に新たな粒子を発生させ、その粒子の属性となる位置、色、法線方向、半径を決定する。さらに、MPS 法のシミュレーションにより各粒子の速度ベクトルが求まるので、うねり部分に新たに発生させる粒子の速度ベクトルも平行補間により求める。一方、しぶき部分の形状は奥行き方向に類似性をもたないため、平行補間を行わない。

自然な碎波のアニメーションを作成するためには、粒子の運動方向の秩序が保たなければならない。そこで、各タイムステップで対応する粒子を判定する。しぶき部分には小さな粒子を発生させるため、1 対 1 には対応しないが、粒子の位置と直前のタイムステップにおける粒子の速度ベクトルから、分裂前の粒子を推定できる。そして時系列方向に補間を行い、中間タイムステップの 3 次元モデルを作成することで、粒子のなめらかな運動を実現する。

3.2 レンダリング

レンダリングには拡張サーフェルを用い、その属性である色と半径は先行研究[4]と同様に設定した。また、水面下の深さを表現するため、各粒子に対して半透明度のガウシアンテクスチャをマッピングする。

さらに、水のゆらぎを表現するため、各粒子の法線方向を変化させる。うねり部分の粒子の法線方向は視点方向を基本とし、それに擾乱成分を付加する。しぶき部分は粒子の大きさが小さいため、粒子の法線方向をランダムに設定できる。

4. 実装

使用した形状データは、MPS 法によって解析された水柱崩壊の 2 次元データであり、図 1 に示したものと同一である。元データの粒子数は 648 個である。26 枚の 2 次元データを使用して 3 次元モデルを作成した。うねり部分を平行補間する際は、対応させる 2 つの粒子間に 3 つの粒子を発生させた。

レンダリングには、自主開発の拡張サーフェルレンダリングプログラム[6]を使用した。実装には、SGI 社製の O2(CPU:R10000, Clock:195 MHz, RAM:256MB)を用いた。

図 2 に、ある時刻において異なる視点から碎波をレンダリングした結果を示す。

5. まとめと今後の課題

碎波を表現する 2 次元粒子シミュレーションデータ



(a)右斜め上方から見た碎波 (b)左斜め上方から見た碎波

図 2：碎波の 3 次元表現

を補間して擬似 3 次元のモデリングを行い、拡張サーフェルを用いて碎波の 3 次元アニメーションを生成する手法を提案した。その結果、3 次元のシミュレーションを行わなくても、2 次元のシミュレーション結果を利用して、一定の写実性を伴う碎波の 3 次元アニメーションが作成できることが確かめられた。

しかし、現在のアニメーションではしぶき部分の粒子に対して、奥行き方向の平行補間を行っていないため、水の体積保存が考慮されていない。この問題の解決策としては、投影後の粒子面積の総和が各タイムステップで等しくなるよう、発生させるしぶきの個数や大きさを調整する方法が考えられる。また、水面下の深さを表現するためガウシアンテクスチャを使用した。3 次元モデルではひじょうに多くの粒子が重ねてレンダリングされるため不透明に見えてしまうので、不透明度の分布を制御する必要がある。さらに、粒子の運動のなめらかさが十分でないため、粒子がよりなめらかに運動できる効果的な方法を再検討する。

今後は、水の透明度、水面や水中での光の反射や屈折、物体の映り込みを考慮することで写実性を高め、視点位置の操作的な変化も検討したい。さらに GPU を利用することで、処理の高速化が図れると考えている。

謝辞

本研究の一部は、平成 15 年度科学研究補助金基盤研究(C)15607008 の援助によって実施された。

参考文献

- [1] A. Fournier and W. Reeves: "A Simple Model of Ocean Waves," *Computer Graphics*, Vol. 20, No. 3, pp.75-84, August 1986.
- [2] 西村 仁志, 平井 誠, 河合 利幸, 河田 亨, 白川 功: 「分布関数による物体モデリングと画像生成の一手法」, 電子通信学会論文誌, Vol. J68-D, No 4, pp.718-725, 1985 年 4 月
- [3] 越塚 誠一: 数値流体力学, 培風館, 東京, 1997 年
- [4] 樫山 奈保: 碎波のポイントベース表現, お茶の水女子大学大学院人間文化研究科修士論文, 2003 年 3 月
- [5] H. Pfister, M. Zwicker, J. v. Baar and M. Gross: "Surfels: Surface elements as rendering primitives," In *Proc. SIGGRAPH2000*, July 2000, pp.335-342.
- [6] 竹島 由里子, 藤代 一成, 樫山 奈保: 「サーフェル野拡張による連続メント粒子系の統一的レンダリング」, 画像電子学会 Visual Computing 情報処理学会グラフィクスと CAD 合同シンポジウム予稿集 2003, 2003 年 6 月, pp.65-68
- [7] N. Rasmussen, D. Nguyen, W. Geiger and R. Fedkiw: "Smoke simulation for large scale phenomena," *ACM Trans. Graphics*, Vol. 22, No. 3, pp.703-707, July 2003.
- [8] <http://www.utnl.jp/rohonbu/lab/mps/example/collapse.html>