G-15

津波の大規模粒子シミュレーションのための半透明融合可視化

Translucent Fused Visualization for Large Scale Particle Simulation of Tsunami Water

田中 健太郎† 田中　覚 ‡ 長谷川　恭子* 室谷　浩平 § 越塚　誠一 ¶
Kentaro Tanaka Satoshi Tanaka Kyoko Hasegawa Kohei Murotani Seiichi Koshizuka

1. はじめに

粒子シミュレーションアルゴリズムや 3 次元計測技術の進展によって，数千万点以上の大規模 3 次元点群データが容易に取得されるようになってきた．例えば，スーパーコンピュータを用いた流体の粒子シミュレーションでは，数億点以上の大規模な 3 次元点群が出力される．さらに，津波や海流の粒子シミュレーションでは，沿岸地域における土地の起伏のレーザ計測データを重畳する必要もある．レーザ計測データも大規模 3 次元点群データである．

従来，粒子シミュレーションの可視化には，ポイントレンダリングかポリゴンレンダリングが用いられてきた．ポイントレンダリングは，シミュレーションで生成された粒子をそのまま描画の基本形状としてのポイントと解釈し，各ポイントを描いて可視化を行うものである．一方，ポリゴンレンダリングは，粒子データをメタボール法などでポリゴンメッシュ化した上で，各ポリゴンを描いて可視化を行うものである．大規模データの対話的な可視化においては，どちらの方法も，不透明な可視化の場合には有効である．しかし，半透明可視化には不向きである．それは，正しい奥行き感を実現するためには，描画の基本形状（ポイントあるいはポリゴン）のデプスソートが必須だからである．例えばポイントレンダリングでは，粒子数を N として，デプスソートは N log N に比例する計算時間を要する．このため，スーパーコンピュータによる津波シミュレーションなどのように，数億個以上の粒子データを扱う場合，対話的な可視化処理は，マウスで回転させる程度の簡単な処理ですら不可能である．

本研究では，上記の大規模 3 次元点群データを，格子型のボリュームデータやポリゴンデータに変換すること無しに直接利用して，高精細に可視化する手法を提案する．提案手法は最近我々が提案した粒子ベースレンダリング[1, 2, 3]を基にしている．手法の適用例として，本稿では，東日本大震災における石巻市の津波被害を粒子シミュレーションで再現したデータを用いる．粒子ベースレンダリングの利点を活かし，精密な半透明可視化，津波と建造物，流速と渦度などの融合可視化の効果も検証する．

2．粒子ベースレンダリング

粒子ベースレンダリングは，「不透明な発光粒子」描像に基づく半透明ポイントレンダリングである.その特徴は，(a)大規模データに適用可能であり，(b)視線方向のソート処理に由来するアーチファクトが無く，(c)複数データの融合可視化が容易である，という 3 点にまとめられる．粒子ベースレンダリングにおける描画の基本形状として，可視化対象である 3 次元点群をそのまま用いることで，高精細な半透明可視化が対話的な処理速度で実行可能になる．また，様々な融合可視化も容易になる．

粒子ベースレンダリングにおける粒子密度と不透明度の関係式は，次式となる[1].

$$\rho(\mathrm{x}) = -\frac{\log(1-\alpha(\mathrm{x}))}{d^2\Delta t} \tag{1}$$

ここで， d は粒子の直径である．Δt はレイキャスティング法との対応で考えた場合のレイ上のサンプリング間隔である．x はボリュームデータの定義された空間内の位置であり，α(x)は，その場所の透明度ということになる．
式(1)は粒子密度が大きいほど不透明度も大きくなるということを表している．実際に，log(1-α(x))をテイラー展開すると，α(x)の値は十分小さいとしているので，ρ(x)=α(x)となり，粒子密度と不透明度は比例関係となっている．

粒子ベースレンダリングでは以下の 3 つの処理を順に行う．

STEP.1　粒子生成

統計的に独立な粒子のグループを L_R 個用意する．L_R(リピートレベル)は整数値でユーザーが決める．

STEP.2　陰点処理を伴う粒子投影

それぞれの粒子を設定するために，L_R 個の粒子グループに対して，画像平面上に粒子を投影する．陰点処理は投影する際に行われている．

STEP.3　平均画像の生成

最終的な半透明画像を生成するために，L_R 個の画像から平均画像を作成する．ここで L_R は画像の質を操作するパラメータとして使われている．

粒子ベースレンダリングの観点からすれば，可視化のためのデータを生成する粒子シミュレーションは STEP.1 の粒子生成に他ならない．ただし，シミュレーションを行う際に 1 つの粒子グループのみ得ることができるので，そこで得られた粒子を，用意された複数の独立な粒子のグループである L_R サブセットにランダムに分割している．

3. 津波シミュレーションの可視

大規模津波の粒子シミュレーション結果の半透明可視化を行う．このシミュレーションは 2011 年の東日本大震災における石巻市の津波を評価したものである[4]．粒子シミュレーションの手法としては MPS(Moving Particle Semi-implicit)法が採用されており[5, 6, 7, 8]，シミュレーションには 1 千万点程度の 3 次元点群データが用いられている．本節では，この粒子シミュレーションで得られた粒子に粒子ベースレンダリングを直接適用し，流速と地形，渦度と建物，流速と渦度の半透明融合可視化を行った結果を紹介する．この場合，粒子数を増殖し，もしくは削減することで透明度を操作することが出来る[9].

†‡*立命館大学， Ritsumeikan University
§ ¶東京大学， The University of Tokyo

3.1　可視化時の実験環境と性能

レンダリング速度は結果の総粒子数によって異なるが，今回の実験では全ての可視化で対話的な処理速度が実現できている．環境については，CPU は Xeon E5-2687W processor (3.10 GHz)，メインメモリは 378 GB，GPU は NVIDIA Quadro K5000 の LinuxPC で実験を行った．シミュレーションを行った時に用いた 1 千万点程度の粒子数の場合，平均的なレンダリング速度は 12FPS 程度である．また，1 千万点程度の粒子数の時にはリピートレベルを 100 にしていたが，粒子数を 10 倍し，リピートレベルを 1000 に変えて実験を行った．その際の平均的なレンダリング速度は 1FPS 程度である．Fig.1 と Fig.2 に粒子数と FPS の関係を表す．

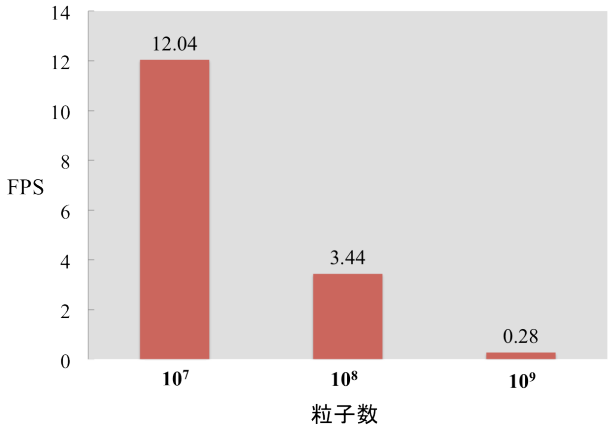


Fig.1：粒子数と FPS の関係(L_R=100)

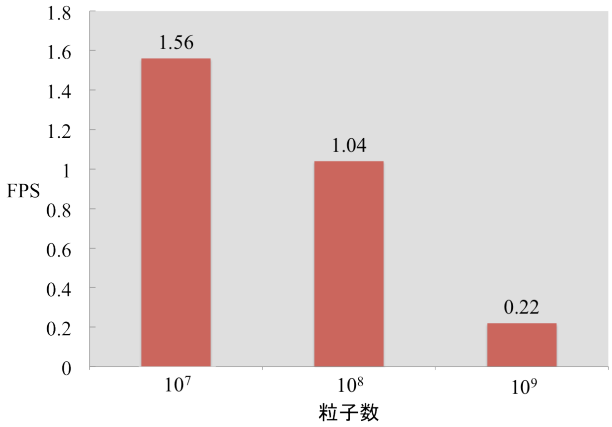


Fig.2：粒子数と FPS の関係(L_R=1000)

3.2　流速と地形の融合可視化

流速と地形の融合可視化を Fig.3 に示す．色相には，流速が遅いところから速いところに対して青から赤に連続的に変化するレインボーカラーマップを用いている．地形と融合可視化することで，沿岸部分に沿って津波が溢れている部分が明確に示されている．これは，水深の違いによって不透明度が変化するためであり，半透明可視化の効果と言える．

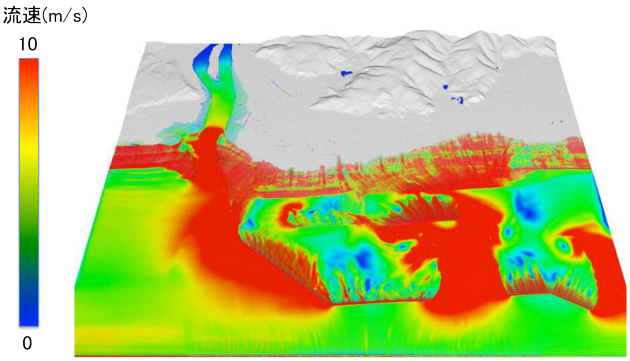


Fig.3：石巻市における流速と地形の融合可視化

3.3　物理量と建造物の融合可視化

市街地の粒子シミュレーションにおいては，建造物が考慮されている．実際にシミュレーションを行う際には Fig.4 に示すようにポリゴンデータとして与えられている．しかしながら，粒子ベースレンダリングで可視化を行う際には粒子である必要があるので，今回はポリゴンをサンプリングして粒子化している(Fig.5).

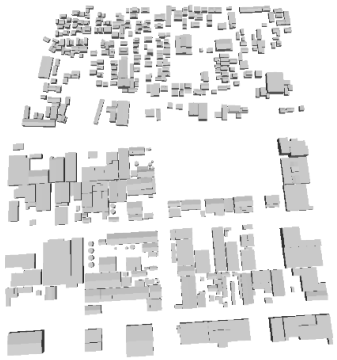


Fig.4：ポリゴンデータの建造物



Fig.5：粒子データの建造物

3.4　流速と地形の融合可視化

渦度の z 成分と建造物の融合可視化を行った(Fig.6)．粒子数は 1 億点程度で，L_R は 1000 としている．渦度は小さい方から大きい方に対して青から赤の連続的に変化するレ

インボーカラーマップを用いている．建造物は先に述べたように，ポリゴンデータをサンプリングして粒子データとした後に融合している．建造物の色は黄色にしている．このように粒子ベースレンダリングでは，物理量の可視化の際に，その視覚補助としてポリゴンデータを融合させて可視化することが容易である．

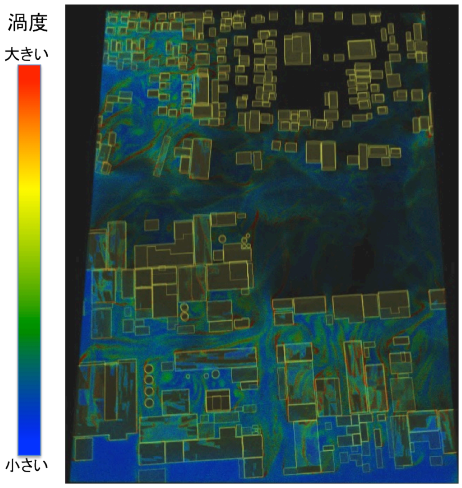


Fig.6：渦度と建造物の融合可視化

3.5　流速と地形の融合可視化

次に，流速と建造物の融合可視化を行った(Fig.7)．粒子数は 10^8 であり，L_R は 1000 としている．流速は小さい方から大きい方に対して青から赤の連続的に変化するレインボーカラーマップを用いている．建造物は黄色にしている．このようにすることで，建造物と流速の関係が見て取れる．

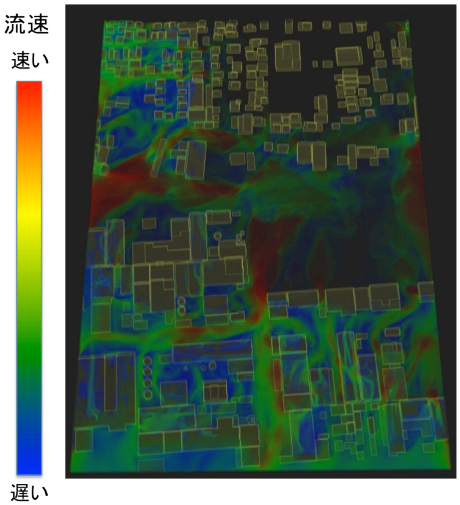


Fig.7：流速と建造物の融合可視化

3.6　流速と渦度と建造物の融合可視化

最後に，流速と渦度と建造物の融合可視化を行った(Fig.8)．粒子数は 10^8 であり，L_R は 1000 としている．流速は小さい方から大きい方に対して青から赤の連続的に変化するレインボーカラーマップを用いている．渦度はある一定の閾値以上の場合だけ白で表示するようにしている．粒子ベースレンダリングではこのような選択が容易に行うことができる．今回も建造物は黄色にしている．このようにすることで，建造物と流速の関係が見てとれる．この融合可視化結果から，流速が急激に変化するところで渦度が高いことが分かる．これは一種の，流速のクラスタリングになっていると言える．

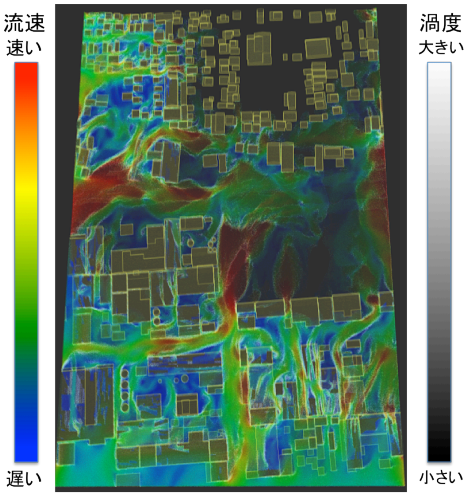


Fig.8：流速と渦度と建造物の融合可視化

4.　まとめ

本論文では，東北大震災の津波を再現する粒子シミュレーションの出力データをそのまま使って粒子ベースレンダリングを行い，その効果を検証した．津波と土地の融合，渦度と流速の融合などは，シミュレーションのビジュアル解析に有用であることが分かった．粒子ベースレンダリングを用いることで，粒子シミュレーションの粒子をポリゴンメッシュなどに変換しなくてもそのまま使用することができる．実行速度は粒子数によって変化するものの，1 億点程度でも対話的な速度で実行できることが分かる．また，流速や渦度と建造物を半透明に融合可視化することで，建物が津波の速度や渦度にどのような影響を与えているのか直感的に理解することができる．

我々は現在，可視化する物理量の不透明度伝達関数を用いて不透明度を操作する機能を追加しようと考えている．実際に，今は渦度の小さい箇所の粒子を削除し，大きいところをより強調して可視化している(Fig.8)．また，今後は建造物や流速等の物理量への色の割り当て理論的に行おうと考えている．さらに，建造物が流されていくようなシミュレーションについても可視化を行うつもりである．

参 考 文 献

[1] N. Sakamoto, J. Nonaka, K. Koyamada, S. Tanaka: Particle-based Volume Rendaring, Asia-Pacific Symposium on Visualization 2007, Sydney, New SouthWales, Ausutralia, February, 5-7, 2007

[2] N. Sakamoto, J. Nonaka, K. Koyamada, S. Tanaka: Volume Rendering Using Tiny Particles, IEEE International Symposium on Multimedia (ISM2006), San Diego, California, USA, December, 11-13, 2006

[3] S. Tanaka, K. Hasegawa, Y. Shimokubo, T. Kanekom,

T. Kawamura, S. Nakata, S. Ojima, N. Sakamoto, H. Tanaka, K. Koyamada:
Particle-Based Transparent Rendering of Implicit Surfaces and its Application to Fused Visualization,
EuroVis 2012, Vienna(Austria), 2012, 25-29.

[4] K. Murotani, S. Koshizuka, T. Fujisawa, M. Naoto, S. Yoshimura:
Hierarchical domain decomposition explicit MPS method for a large-scale tsunami analysis, in Proc. JSMECMD International Computational Mechanics Symposium 2012 (ICMS2012), MSI1-2-4(90), 2012

[5] S. Koshizuka and Y. Oka:
Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, Nuclear Science and Engineering, 123, 421-434, 1996

[6] S. Koshizuka, A. Nobe, Y. Oka:
Numerical Analysis of Breaking Waves Using the Moving Particle Semi-implicit Method. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 26, 751-769, 1998.

[7] K. Murotani, S. Koshizuka, T. Tamai, K. Shibata, N. Mitsume, S. Yoshimura, S. Tanaka, K. Hasegawa and T. Fujisawa:
Large-scale Tsunami Analysis with Floating Objects Using Hierarchical Domain Decomposition Explicit MPS Method, JSST 2013 International Conference on Simulation Technology, Meiji Univ. Surugadai campus, Sep. 11-13, 2013.

[8] S. Koshizuka:
Current Achievements and Future Perspectives on Particle Simulation Technologies for Fluid Dynamics and Heat Transfer, J.Nucl.Sci.Technol, 48(2), 2011, 155-168.

[9] S. Tanaka, M. Uemura, K. Hasegawa, T. Kitagawa, T. Yoshida, A. Sugiyama, H. T. Tanaka, A. Okamoto, N. Sakamoto, and K. Koyamada:
Application of stochastic point-based rendering to transparent visualization of large-scale laser-scanned data of 3d cultural assets, In Proc. IEEE PacificVis 2014 (short paper) , 2014.