

大規模数値シミュレーションの可視化のためのデータ階層化*

5H-5

吉田 有宏 武井 利文 土肥 俊†

NEC インターネットシステム研究所‡

1. はじめに

コンピュータの目覚ましい性能向上に伴い、大規模、高精度な数値シミュレーションが可能となる一方、その膨大な計算結果の可視化に時間がかかり、結果の解釈が円滑に行えなくなってきた。しかし、可視化画像に表れるのは全データのほんの一部の情報であり、ほとんどの情報は可視化に不要である。データ階層化を行えば、可視化に必要な十分な情報を効率よく取得できる。そのため、可視化範囲やデータ規模によらない高速な可視化が品質を損なうことなく実現できる。本研究では三次元非構造格子データの階層化を実現し、大規模データに対する実用性を検証した。

2. データ階層化の必要性

大規模データの可視化に対するデータ階層化の必要性を、地球シミュレータを例に示す。今年度末に運用開始予定の地球シミュレータ(図 1)により、今までにない超大規模シミュレーションが可能になる。膨大な計算結果はディスクを介してテープライブラリに蓄積される。計算結果は一つの物理量だけでも数10GB になると見られ、これをそのまま可視化すると、テープ上の全データをディスクに戻す必要があり、可視化を開始できるまで時間がかかる上、可視化に多くの CPU 時間、メモリといった計算リソースを要してしまう。

ところで、高々500×500画素程度の可視化画像に反映される情報は全体のほんの一部であり、ほとんどは視界外や画素よりも緻密な不要情報である。従って、各詳細度の概要データを階層的に保持しておけば、任意箇所における任意詳細度のデータをすぐに取得でき、不要な情報を極力読むことなしに可視化が行える。これをデータ階層化と呼ぶ。大規模データであっても品質を損なわずに全体や細部をストレスなく観察することが可能となるため、大規模可視化に必須の機能となる。

* Hierarchical Representation of Large-Scale Simulation Results on Unstructured Meshes for High-Speed Visualization

† Arihiro Yoshida, Toshifumi Takei, Shun Doi

‡ Internet System Research Laboratories, NEC Corporation

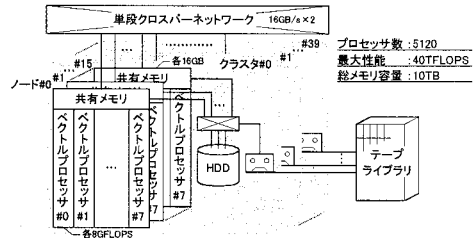


図 1 地球シミュレータのシステム構成

3. データ階層化の課題

データ階層化が大規模データに対して実用的であるためには次の課題を克服しなければならない。

(1) 三次元非構造格子データの階層化

データ階層化が広く利用可能であるためには、最も汎用性が高い非構造格子(図 2)のデータ階層化が可能でなければならない。ただし、非構造格子データは空間的に不規則な構造のため階層化が最も難しい。

(2) データ規模に対し線形オーダの階層化時間

数千万頂点以上の大規模データに対して実用性を損なわないためには、少なくともデータ規模に対し線形オーダに近い階層化時間を達成しなければならない。

(3) 最小限のアクセスで必要情報を取得可能

階層データが大容量低速ストレージに格納されている場合を考慮して、最小限のアクセスで可視化に必要な情報を取得できなければならない。

4. アルゴリズム

本研究では課題(1)を達成するため全四面体非構造格子データの階層化を実現した。関連研究としてプログレッシブメッシュ[1]、ウェーブレットを利用した方法[3]が挙げられるが、現在のところ上記の課題をすべて達成できる事例は報告されていない。ここではポリゴンオブジェクトや地形データに適用されている MT (Multi-Triangulation)[2]の次元を拡張して全四面体非構造格子データに応用し、さらに課題(2), (3)を達成するため、階層ファイルの形式に工夫を凝らした。

MT では階層構造を作り出すために、局所的な単純化を誤差の小さい順に繰り返し行い、格子が十分単純

化されるまで続ける。ここでは図 3 の単純化操作を用いている。単純化毎に、詳細化データ、誤差、以前の単純化操作との依存関係を記録しておく。これをもとにオリジナル格子データは、図 4 のような詳細化操作の依存関係グラフの形で階層表現できる。

依存関係に基づく順序で、都合に合った詳細化操作を行えば、格子を様々に再構成できる。例えば図 4 の右寄りの領域で詳細度をある程度高めたい場合、濃い灰色で囲まれた詳細化操作を行えばよい。さらに詳細度を高めたい場合は、薄い灰色で囲まれた詳細化操作をさらに行えばよい。この自由度の高い再構成によって、可視化に効率的な格子データを生成できる。

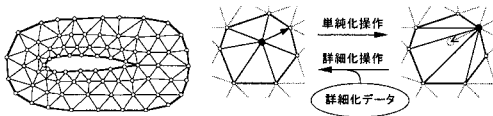


図 2 非構造格子 図 3 単純化操作と詳細化操作
二次元で図示。 二次元で図示。

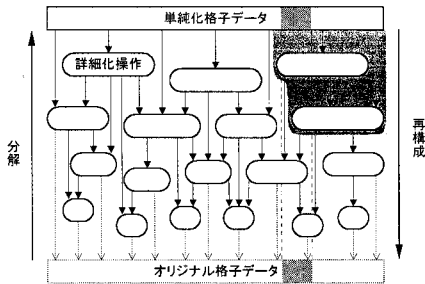


図 4 MT における詳細化操作の依存関係グラフ
ノードの幅は詳細化操作の空間的な影響範囲を表す。

5. 評価

本方式が課題(2), (3)を達成しているかを確認するため、図 5 の格子を用いていくつかの評価を行った。図 6 に見るように、各単純化の所要時間が格子規模に対してほぼ一定であることから、課題(2)の達成が確認できた。また、図 7 に見るように少ない詳細化操作により十分な可視化精度を達成でき、アクセス量が詳細化操作の数に比例することから、課題(3)の達成が確認できた。

6. おわりに

大規模データの効率的な可視化を目指し、三次元非構造格子データの階層化を実現した。改善の余地がいくつかあるが、大規模データに対する実用課題をほぼ解決することができた。今後、アクセスの一層の効率化等の改良ならびに並列化を行う予定である。

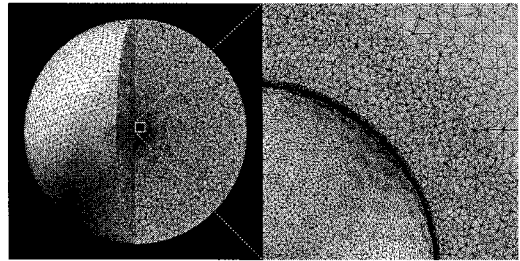


図 5 評価に使用した非構造格子
頂点数800961, 四面体数4576246.
(東北大学大学院工学研究科中橋研究室提供)

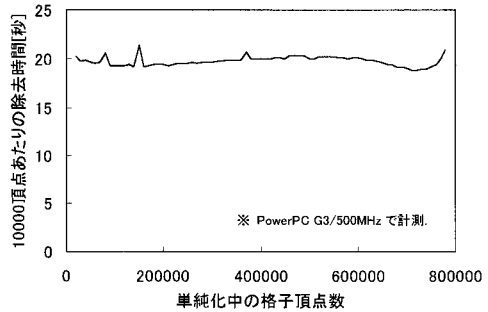
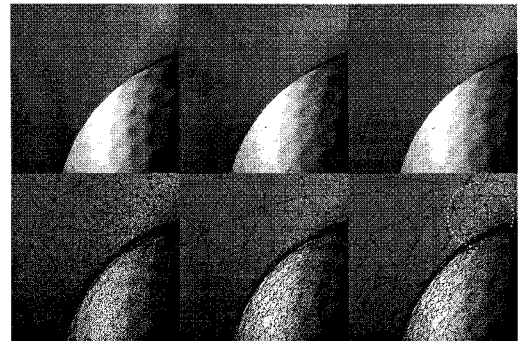


図 6 頂点あたりの除去時間



オリジナル格子 単純化格子 再構成格子
頂点数: 800961 頂点数: 40000 頂点数: 40936
四面体数: 4576246 四面体数: 228224 四面体数: 233831

図 7 再構成の例

画像は圧力分布を示している。白点線で囲まれた部分を詳細化。

参考文献

[1] A. V. Gelder, V. Verma, and J. Wilhelms. "Volume Decimation of Irregular Tetrahedral Grids". *IEEE Computer Graphics International 1999*, 222-230 (1999).
 [2] E. Puppo, R. Scopigno. "Simplification, LOD and Multiresolution. Principles and Applications". *Eurographics '97 Tutorial Notes* (1997).
 [3] M. Eck, T. DeRose, T. Duchamp, H. Hoppe, M. Lounsbery, and W. Stuetzle. "Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes". *SIGGRAPH 95*, 173-182 (1995).