

MPU 法による地球シミュレータデータの補間と圧縮 —海温分布への適用—

伊藤慎[†] 片岡慎二[†] 塚本勇介[†] 長谷川恭子[‡] 仲田晋[§] 田中覚[§]

立命館大学大学院 理工学研究科[†] 科学技術振興機構 CREST[‡] 立命館大学 情報理工学部[§]

1 はじめに

医療や科学技術等の分野では、3 次元の対象物体の内部にも情報をもつ離散的データのボリュームデータが用いられる。ボリュームグラフィックスは対象の構造やその動的振る舞いを可視化する技術であり、有効な視覚的洞察手段である[1]。近年、用いられるボリュームデータは、しばしば大規模データとなり圧縮が必要となる。また、可視化には離散点群の補間が必要となりデータ圧縮との両立は容易でない。離散点群データから陰関数曲面を生成する手法として 2003 年に Ohtake らによって Multi-level Partition of Unity (MPU) 法[2]が提案された。入力点群を保持しなければならない既存の補間手法とは違い、MPU 法は大規模な問題への適用が可能となえ、陰関数の構成やその評価を高速に行うことができる。

本研究では MPU 法を応用し、地球規模の海温を示す大規模離散データに対して高精度なスカラー場の近似による補間を目指す。また 1GB を超えるボリュームデータの効率的な圧縮を実現しつつも正確な補間を両立する。さらに、補間により生成されたスカラー場の微分結果をレイキャスティング法により可視化し、従来の補間手法に比べ高い連続性があることを示す。

2 ボリュームデータの補間

2.1 MPU 法

MPU 法において陰関数曲面 $f(\mathbf{x})=0$ を定義するためのスカラー場 $f(\mathbf{x})$ は

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \varphi_i(\mathbf{x}) Q_i(\mathbf{x}),$$

で定義される。ただし N は分割により生成された領域の数である。また、 $\varphi_i(\mathbf{x})$ は $f(\mathbf{x})$ の評価点 \mathbf{x} が含まれる領域の補間関数 $Q_i(\mathbf{x})$ を重ね合わせるためのコンパクト・サポート関数である。MPU 法では要求した精度が満たされるまで空間の再分割と補間関数の生成を再帰的に行う。最後に各領域で得られた補間関数を滑らかに結合するこ

とで、全空間を記述するスカラー場 $f(\mathbf{x})$ を構成し、評価を行う。

MPU 法において $f(\mathbf{x})$ の評価に必要な情報は基本的に $Q_i(\mathbf{x})$ のみであり、入力点群の情報は必要ない。また、 $f(\mathbf{x})$ 評価の際には必要な局所領域の $Q_i(\mathbf{x})$ のみ評価すればよいため、評価計算は高速となる。以上のことから数百万点にも及ぶ大規模点群に適用が可能となる。

2.2 補間関数

補間関数 $Q_i(\mathbf{x})$ は、次数が高いほど自由度が高く各局所領域に含まれる離散的なボクセルデータを補間しやすい反面、保存しなければならない係数は増える。本研究で用いた $Q_i(\mathbf{x})$ は 0~2 次関数である。一方、ボリュームデータは、医療用データにおける骨と筋肉の境界を例とするように、ある境界で不連続的に変化している場合が多くある。このような境界を含む局所領域は、連続関数で表現することが困難であるため関数を別途定義し、今後これを不連続関数と呼ぶ。不連続関数は、局所領域内に含まれる各ボクセルを、そのスカラー値の最大値と最小値により 2 つのグループに分割し、各グループの存在領域の補間関数と境界を表す境界関数の 3 つより構成される。不連続関数の適用により、大きな領域での補間が可能となり、再分割による領域数と総係数情報量の増大を防ぐことが可能となる。

全領域の補間を行う際には 0 次、1 次、2 次、不連続関数の順番に $Q_i(\mathbf{x})$ の補間精度評価を行い、所望の精度を満たす関数形が得られた段階でこれを採用する。次数の低い補間関数を優先させて補間を試みることで、より効果的な圧縮を実現する。

3 検証実験

本研究で用いた図 1 に示す対象データは、海洋研究開発機構地球シミュレータセンターより提供されている、第 41 年 1 月の平均海温データをもとにし作成した。対象データは横方向に地球の経度を 0.1 度間隔で 3600、縦方向に北緯 75 度~南緯 75 度を同様に 0.1 度間隔で 1500、そして深度 2.5m から 5~330m の層厚で 54 層の正規格子構造データであり、ボクセル数として約 300M 点をもつ大規模データである。各ボクセルには約 -15~30℃ の温度データをデータ値としてもつ。本研究では、海温を 10~255 に正規化する。一方、大陸部分については、提供データにおいて無視すべき値が入力されており本研究では 0 をデータ値として入力する。データサイズは、各

Interpolation and Data Compression of Earth Simulator Data
Based on the MPU Method

— Application to Sea Temperature Data —

[†] Shin Ito, Shinji Kataoka, Yusuke Tsukamoto, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

[‡] Kyoko Hasegawa, Japan Science and Technology Agency, CREST

[§] Susumu Nakata, Satoshi Tanaka, College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

ボクセルが C 言語における int 型のデータ値をもつため、(ボクセル数)×4byte として約 1.13 [GB]である。出力データサイズは、実数を C 言語の float 型で記述するとして、(補間関数の係数の総数)×4byte として算出できる。また、補間により生成された木構造を構成するための情報として、各補間領域の中心座標の (x,y,z) と、補間領域を囲む楕円体のサポート領域の x,y,z 方向の半径が必要である。従って、木構造の構成のために(総補間領域数)×6×4byte のデータ量が必要となる。本研究で用いた計算環境は CPU がクワッドコア Intel Xeon 3.2GHz, メモリが 64GB, コンパイラが gcc 3.4.6 で行った。



図 1: 海温シミュレーションデータの可視化結果

表 1 に本研究における入力・出力データサイズとその圧縮率を示す。同表中では、±3.0 の許容誤差を設定し検証している。なお、補間により構成されたスカラー場をレイキャスティング法によって可視化した結果を図 2 に示す。

表 1: データサイズと圧縮率 (許容誤差±3.0)

不連続関数	あり	なし
係数情報 (圧縮率)	154.80 [MB] (13.92 %)	292.96 [MB] (26.34 %)
木構造	203.42 [MB]	982.37 [MB]
合計 (圧縮率)	358.22 [MB] (32.20 %)	1275.33 [MB] (114.65 %)

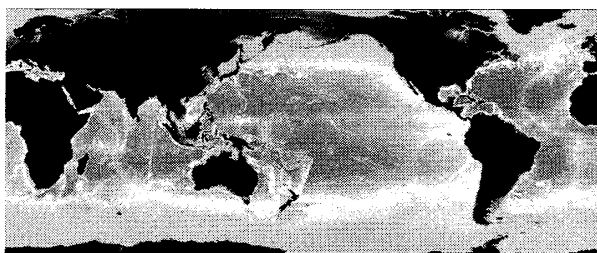


図 2: スカラー場の可視化結果

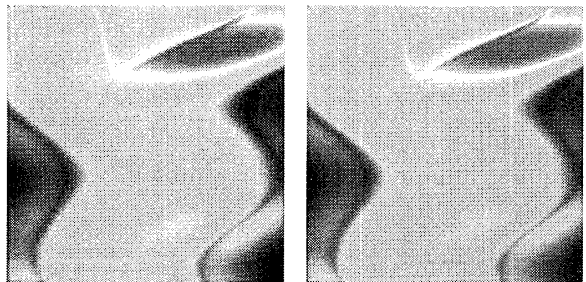
表 1 より大規模離散データに対する圧縮効果があることが分かる。特に係数情報に注目すると約 14%という圧縮率を実現している。一方、入力データとして用いた海温データには急激に温度が変化する場所が多く存在する。このような領域を不連続関数により補間を行うことで圧縮効果の増大が確認できる。

一方、±1.0 の許容誤差を設定し検証を行った結果を表 2 に示す。表 2 に示すように、係数情報に注目すると±1.0 の許容誤差を設定した場合でも圧縮効果があることが確認できる。許容誤差を小さくすることで細部まで、より精度良くスカラー場を構成することが可能となる。

表 2: データサイズと圧縮率 (許容誤差±1.0)

係数情報 (圧縮率)	487.93 [MB] (43.86 %)
木構造	572.07 [MB]
合計 (圧縮率)	1060.00 [MB] (95.29 %)

次に、補間による微分の滑らかさを確認するデータとして tornado の $|\nabla f(\mathbf{x})|$ を用いた。レイキャスティング法により可視化した結果を図 3 に示す。なお、tornado は $128 \times 128 \times 128$ のグリッドサイズをもち、空間内において連続性の高いデータ値をもつボリュームデータである。提案手法の連続性と比較するため、従来補間手法として用いられてきた三重線形補間による補間と可視化結果を示す。図 3 より、三重線形補間ではボリュームデータの格子状の模様が出てしまっていることが分かる。これに対し、提案手法ではそのような模様が出現せず、微分まで含めて連続なスカラー場の構成が可能であることが確認できる。



(A) 三重線形補間

(B) 提案手法

図 3: tornado の可視化結果

4 おわりに

本研究では 1GB を超える大規模離散点群データである地球規模の海温データを正確に補間し、圧縮効果を実証した。提案手法は入力点群の情報を保持する必要がある従来の補間手法では困難な大規模ボリュームデータの補間と圧縮に有効と思われる。また提案手法は高い連続性をもつため微分を必要とするようなボリュームデータの解析に対しても有効であると考えられる。

参考文献

- [1] C.D. Hansen and C.R. Johnson: The Visualization Handbook, Academic Press, Elsevier Inc. (2005)
- [2] Y. Ohtake, A. Belyaev, and M. Alexa, G. Turk, and H.-P. Seidel: Multi-level Partition of Unity Implicits, ACM Transactions on Graphics, Vol.22, No.2 (2003) pp.463-470.