

バイアス関数によるカラーマップ自動調整技術

河村 拓馬* 宮村 浩子* 武宮 博*

* Japan Atomic Energy Agency

1 序論

近年の計算機科学技術の発展により、数値シミュレーションの結果得られるデータが大規模・複雑化してきている。例えば日本原子力研究開発機構が開発している3次元仮想振動台シミュレーションでは、原子力施設全体の耐震計算を行っており、その結果のデータは非常に多数の部品から構成される大規模・時系列データとなっている。

しかしながら、多数の部品から構成されるデータを可視化する場合、しばしばカラーマッピングに関する問題が発生する。数値計算された各部品は異なる物理値の範囲を持つが、それらを統合して得られるデータは、その物理値の範囲が大きく拡大される。カラーマッピングは可視化対象となるデータの物理値の最大・最小値の範囲に色を割り当てるため、拡大された物理値を基準にするカラーマッピングでは、各部品の持つ物理値の細かな変化を見逃してしまう可能性がある。部品数が少なくても、応力集中のように物理値が狭い範囲に集中する場合には、同様の問題が発生する。

多くの場合カラーマップの調整はユーザが試行錯誤を繰り返しながら手動で行うため、大規模データを対象とした場合、作業時間が長大になるという課題がある。適切な色付けを自動で、かつ大規模データに対しても高速に行う事ができる手法は、現在でも議論がなされている。

この問題を解決するため、バイアス関数を用いたカラーマップ自動調整手法を提案する。この手法は非構造格子データの物理値の分布を参照して、データに割りつけられる各色の量(体積)が均等になるようにバイアス関数を構成し、カラーマップを変換する。その結果、変化の少ない物理値の範囲にも十分に变化する色を割りつけることが可能になる。また、バイアス関数は連続関数として導出されるが、処理を高速化するためにその離散化を行った。

2 バイアス関数によるカラーマップの調整

この手法は二つの処理から成り立っている。一つは、非構造格子中の物理値の分布から、密度関数を生成する処理である。物理値の量は体積で計測されるため、物理値とその体積を関連付けるこの関数を、体積密度関数と呼ぶ。二つ目の処理は、バイアス関数の構成である。この関数は体積密度関数の累積関数の逆関数として、数値的に計算される。体積密度関数とバイアス関数は区分線系関数として実装される。

2.1 体積密度関数

データの物理値の分布を表現するためには、格子の節点上に定義された物理値を数え上げて生成される、ヒストグラムがしばしば用いられる。しかし非構造格子の場合、各要素の体積が異なるため、その影響度を考慮する必要がある。体積密度関数 $\rho(s)$ は、物理値 s がボリュームデータ中に占める体積の分布を表現する関数である。物理値 s_{min} から s の範囲に対応する部分領域の体積を、関数 $V(s; s_{min})$ で定義する。このとき、 $\rho(s)$ は V の導関数として計算される。

体積密度関数を簡便に計算するために、物理値を離散化して、区分線系関数として取り扱う。 $\rho(s)$ の i 番目の節点の値 ρ_i は $\rho_i = V(s_{i+1}; s_i) / \delta s$ で計算される。ここで δs は離散化された物理値の区間幅である。 $V(s_{i+1}; s_i)$ の値は、要素の体積をその節点数で除算した値が各要素で計算され、対応する区間 $[s_{i+1}, s_i]$ に足し込まれる。

2.2 バイアス関数

バイアス関数 b はボリュームデータ中の色の量が均等になるという条件から以下のように導出される。

$$b^{-1}(s) = \frac{1}{c} \int_{s_{min}}^s \rho(\lambda) d\lambda + s_{min}, c = \frac{V(s_{max}; s_{min})}{s_{max} - s_{min}} \quad (1)$$

バイアス関数 $b(s')$ を用いて、カラーマップ $C(s)$ は $C \circ b(s')$ に変換される。ここで s' は変換後のカラーマップに対応する物理値である。

体積密度関数 $\rho(s)$ は区分線系関数なので、 $b^{-1}(s)$ は区分線系関数として式(1)から簡単に計算される。式(1)の逆関数である $b(s')$ を区分線系関数として構成するために s' を離散化し、各節点に対応する値を数値計算する。式(1)から $b^{-1}(s)$ は連続な単調増加関数だとわかるので、二分法が適用できる。

3 実験結果と議論

提案手法の有効性を、物理値の可視化と処理速度の観点から検証するために、3次元仮想振動台から得られた高温工学試験研究炉のデータを用いて実験を行った。このデータは頂点数 1,806,189、要素数 7,375,380 の四面体格子であり、レインボーカラーマップを用いてボリュームレンダリングし、バイアス関数適用前と後の画像を比較した。また、体積密度関数及びバイアス関数の生成時間と、バイアス関数を用いたカラーマップの変換時間を計測した。

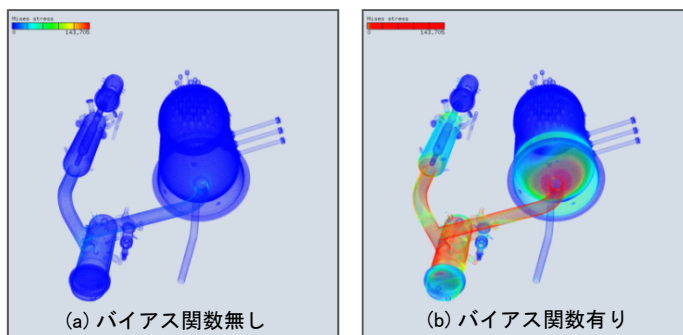


図 1. ミーゼス応力の可視化結果

表 1. パフォーマンス

体積密度関数	バイアス関数	カラーマップ変換
1756.5 [msec]	12.7 [msec]	0.8 [msec]

図 1 の(a)からは、応力が冷却器とパイプの接合部に集中している様子が見て取れる。提案手法を適用した(b)からは、(a)では見ることの出来なかった機器やパイプ中の応力の分布をはっきり確認できる。また、表 1 に、提案手法によるカラーマップ調整に要した時間を示す。従来手法に比べて 2 秒程度のオーバヘッドでカラーマップの調整が可能になっている。

4 展望

今後は 2 TB を超える大規模な時系列データに提案手法を適用してゆく。しかし、体積密度関数の生成は要素数に比例して処理時間が増大すると考えられるため、大規模データに適用する際のボトルネックになる。しかしこの処理は各要素で独立に計算が可能のため、並列計算による高速化が可能だと考えられる。また提案手法を時系列データ向けに拡張する手法を検討中である。