

固体地球シミュレータ GeoFEM の開発（大規模非構造格子可視化技術）

Development of Solid Earth Simulator GeoFEM (Volume Visualization for Large Scale Unstructured Grid)

竹島 由里子 [1], 中村 浩子 [2], 藤代 一成 [3], 奥田 洋司 [4], 中村 壽 [5]

Yuriko Takeshima [1], Hiroko Nakamura [2], Issei Fujishiro [3], Hiroshi Okuda [4], Hisashi Nakamura [5]

[1] お茶大 人間文化, [2] お茶大院・情報科学, [3] お茶大・理・情報, [4] 横国大・工・生産, [5] 高度情報

[1] Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu Univ., [2] Graduate School of Humanities and Sciences Ochanomizu Univ, [3] Dept. Info. Sci., Ochanomizu Univ., [4] Dept. of Mech. Eng., Yokohama National Univ., [5] RIST

<http://geofem.tokyo.rist.or.jp/>

GeoFEM で得られる膨大な計算結果を適切に可視化処理するためには、可視化アルゴリズムの高速化は不可欠であり、並列化は重要な方策の 1 つである。本研究では、フィールド値がある有限閉区間に属するような 3 次元サブボリュームをソリッドデータとして幾何学的に表現する区間型ボリューム抽出の並列化アルゴリズムを開発する。また、大規模データから抽出された区間型ボリュームは膨大な枚数のパッチを必要とするため、描画・通信に大きな負荷をかける。これらを軽減させるために、総パッチ数を削減するトライアングルデシメーションを適用し、重要な形状的特徴を保持しながら、詳細度を制御できる機構を実現する。

GeoFEM で扱うデータは、有限要素法解析から得られる大規模 3 次元データである。このような 3 次元ボリュームデータの内部構造や動的振舞いを直感的かつ効率的に解析するための有効な手段として、ボリュームビジュアライゼーション (volume visualization) に大きな期待が寄せられている。膨大な計算結果を適切に可視化処理するためには、可視化アルゴリズムの高速化は不可欠であり、並列化は主要な方策の一つである。また、現在の計算機能力では、数値シミュレーションによって得られたすべてのデータを可視化することは事実上不可能なため、興味ある部位 (Region of Interest: ROI) の特定や抽出した幾何学的特徴を単純化する詳細度制御などの工夫が要求される。著者らは、ボリュームビジュアライゼーションの代表的な技法である、特定のフィールド値をもつ領域をパッチとして表現する等値面化と、幾何学的特徴を抽出せずにボリューム全体を半透明な画像として表示するダイレクトボリュームレンダリングの中間に位置するものとして、フィールド値がある有限閉区間に属するような 3 次元サブボリュームをソリッドデータとして幾何学的に表現する“区間型ボリューム”を提案した。これは、区間の指定の仕方によってさまざまな意味をもつ。フィールド値全体の区間を指定すれば区間型ボリュームはボリューム全体を表現し、区間の幅を 0 にとれば等値面に縮退する。また、十分小さな幅をもつフィールド区間に対応する領域を指定すれば、誤差を許容した等値面を表現することも可能である。これらから、区間型ボリュームは等値面の一般形を与えていると考えられる。一方、本技法は、ダイレクトボリュームレンダリングに近い直観的可視化が可能であるにもかかわらず、同法ほどの計算量を必要としない。そのため、ダイレクトボリュームレンダリングを用いて対象を詳細に可視化する前に、あらかじめ最適なビューイングパラメータ値を決定したり、transfer function を改良する際に利用できる。また、区間型ボリュームはソリッドデータとして抽出されることから、簡単な幾何学的計算によって形態的計測も可能であり、ROI の定量的解析を効率よく行うことが可能である。よって、区間型ボリュームとダイレクトボリュームレンダリングを組み合わせることにより、効果的なボリュームビジュアライゼーションのためのハイブリッドアプローチが形成される。区間型ボリューム抽出は各要素ごとに行われることから、並列計算機の各プロセッサにボリュームデータを分割し、数値シミュレーションを行うような場合には、ほとんどプロセッサ間通信を行うことなく区間型ボリュームを生成することができる。このことに着目し、本研究では区間型ボリューム抽出の並列化アルゴリズムを開発している。また、区間型ボリュームは、データが大規模であるほど、膨大な枚数のパッチを必要とし、通信により大きな負荷がかかるだけでなく、場合によっては描画が不可能になるという問題も生じてくる。パッチの枚数が削減されるほど、描画・通信における負荷も軽減できることから、総パッチ数を削減するトライアングルデシメーション (Triangle Decimation) を区間型ボリュームに適用することによって、これらの問題の解決を試みている。トライアングルデシメーションでは、三角形パッチから構成されたデータセットに対して頂点の形状的特徴を評価し、特徴が小さい場合は削除、再三角形化を適当なデータサイズに達するまで繰り返す。これにより、入力データを形状的な特徴を考慮せずに間引くことによって削減した場合と異なり、重要な形状的特徴を保持しながら詳細度を制御することができる。