

## 大規模反復型数値計算の高速化支援のための可視化ツールの開発

花房 秀光<sup>†</sup> 小寺 晋<sup>†</sup> 木内 俊介<sup>†</sup>  
山崎 勇輔<sup>†</sup> 福間 慎治<sup>†</sup> 森 眞一郎<sup>†</sup>

### 1. はじめに

数値シミュレーションで多用される反復型数値計算の高速化では、いかに少ない反復回数で十分な精度の近似解が得られるかが重要である。シミュレーションのユーザーは一般に解こうとしている問題の性質に関する事前知識を持っており、この事前知識を上手く活用できれば、シミュレーションの高速化に関する示唆が得られる可能性がある。そこで我々は今までユーザーに提示されることが少なかった反復計算の収束過程に注目し、残差分布を可視化して、ユーザーに提示することで、プログラムの高速化を支援する手法の検討を行っている。残差分布の時間変化をシミュレーション対象である物体の3次元構造に写像して可視化するツール<sup>1)</sup>や、高速化支援をより効果的に行うために、ユーザーインターフェースの機能の拡張などを行った<sup>2)</sup>。

### 2. 大規模問題に対する可視化手法の検討

大規模問題への適用に際して、可視化システムに求められる要件を分析する。まず最初に可視化対象となる残差分布の性質について考える。一般に反復法では、収束までの反復回数は問題サイズに比例して増加する。そのため、可視化対象となるデータのサイズは空間方向、時間方向それぞれの問題サイズに比例して増加する。しかしながら、画面上に表示可能なピクセル数には限界があるため、表示に際して何らかの情報圧縮が必要となる。

次に残差の値そのものについて考えると、一般的な傾向としてその絶対値は初期値から始まって指数関数的に減少し、0に向かって収束する。そのため、残差の時間方向の変化を考えるとダイナミックレンジが非常に広いという性質がある。問題にも依存するが、同一時刻での変数空間方向で考えても残差は広いダイナミックレンジを有している。一方、数値計算に要する時間に

ついて考えると、問題の大規模化に伴い、1回の反復に要する時間も増大する。そのためシミュレーションを、可視化のパラメータを変えて何度もシミュレーションを再実行するという試行実験は困難となる。さらに、高速化支援のためにはあるステップでの残差が、次の反復でどのような影響を与えるかを予測するための相互作用に関する視覚的情報提示が必要となる。

以上の要求要件を考慮し、本研究ではシティマップ<sup>3)4)</sup>に基づく可視化手法を実装することにした。シティマップとは反復計算の対象となる方程式における係数行列のうち、非零となる要素を“点”で表現することで係数行列の概形を一目で把握可能にしたもので、大規模疎行列計算時によく参照されるデータ構造である。次節では開発した可視化手法の詳細について説明する。

### 3. システムの実装

#### 3.1 シティマップに基づく残差表示

残差分布の空間方向、相互関係に対応するため残差分布を対角要素にマッピングした。しかし、問題が大規模化するにつれ、マッピングされた点が視認出来なくなる。その対策として、残差分布を列方向へマッピングした(図1)。この方法でより見やすくなったが、構成する要素数が少ないとやはり見落としてしまう。そこで、立体化による強調を行った。

3次元表示の際、高さを残差の値で表示した(図2)。次に残差は各要素の係数の大きさによる影響を受けるので、係数の影響を考慮した3次元表示を実装した(図3)。また、右辺ベクトルの大きさを考慮した残差の相対値による残差分布表示も実装した(図4)。さらに、視点を回転させることで2次元表示や単なる残差分布のグラフとして見ることも出来る。

#### 3.2 対話機能の実装

大規模な問題をシミュレーションすると、1反復の計算時間も増加する。そこで、シミュレーションの計算をするノードと可視化をするノードを分離し、並列処理を用いてそれぞれ独立して処理を行う。シミュレーショ

<sup>†</sup> 福井大学大学院工学研究科  
University of Fukui

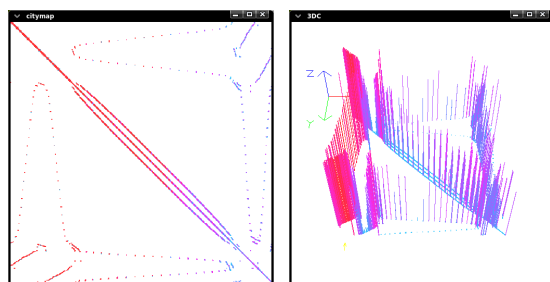


図 1 2次元残差分布表示  
Fig. 1 2D distribution of residual

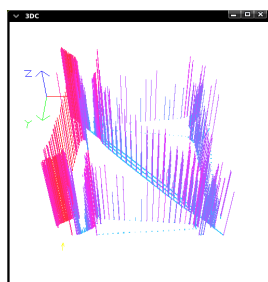


図 2 3次元残差分布表示  
Fig. 2 3D distribution of residual

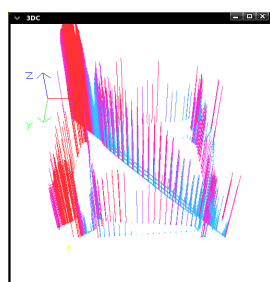


図 3 係数を考慮した残差分布  
Fig. 3 Considering the residual factor

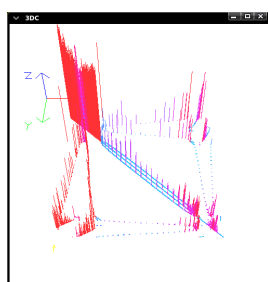


図 4 残差相対値表示  
Fig. 4 Consider the right hand side vector

ンを行う計算ノードでは1タイムステップごとの残差のデータを可視化ノードに送信し、可視化ノードでは残差データから可視化を行い、ユーザからパラメータ変更などの操作があれば計算ノードと通信してシミュレーションに反映させる。これらの通信を非同期に行うことによってシミュレーションの途中で可視化のパラメータを対話的に変更出来るようにした。そうすることで、1度のシミュレーション中に様々な観点からの対話的な解析を可能にし、高速化の支援に繋げる事ができる(図5)。また、まだ未実装だが前回のシミュレーション結果をガイドラインとして表示し、その結果と現在のシミュレーションの結果を比較してユーザが操作するといった機能も実装予定である。

3.3 タイルドディスプレイを用いた高解像度解析  
通常、ディスプレイの画素数には限界があり、問題が大規模になるにつれ 1pixel に圧縮される情報量が増えてしまう。その結果、必要な情報が隠れてしまう可能性がある。そこで、タイルドディスプレイを用い使用できる画素数を増やすことで、1pixel に含まれる情報量を減らし、情報の見落としを防ぐことが出来るようにした。

タイルドディスプレイとは複数のディスプレイを組み合わせて一つの大きなディスプレイとして使用する技術で、アプリケーションのソースコードに SAGE<sup>5)</sup>

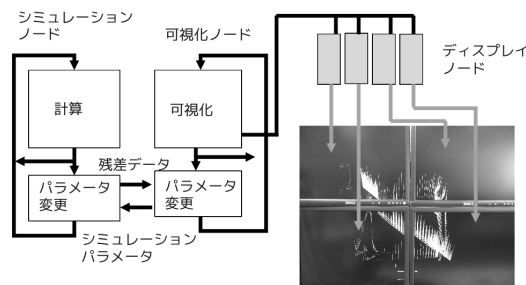


図 5 ツールを使用した場合のデータの流れ  
Fig. 5 Data flow

の API コードを加えることでタイルドディスプレイクラスタに表示させたい対象のビットマップ、またはテキストを送信しディスプレイに表示する。本環境では、可視化ノードからタイルドディスプレイクラスタにシティマップを用いた残差分布表現の描画された結果を送信することでタイルドディスプレイを用いて結果の表示を行っている(図5)。

#### 4. まとめ

残差分布の空間変化に注目した可視化手法を検討し、シティマップを用いた残差分布の3次元可視化、右辺ベクトルを考慮した相対値表示やダイナミックレンジへの対応により、残差分布の空間の広がり方が分かるようになった。今後、高速化を支援していくためには、対話機能を増やし、より多くの観点から解析を行うことが出来るようになる必要がある。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、京都大学附属病院医療情報部に協力いただいた。ここに深く感謝の意を表します。

本研究は一部 Jspcs 科研費基盤 (c)22500044 の助成による。

#### 参考文献

- 1) 小寺 晋. 共役勾配法における収束過程の可視化による高速化支援システムの検討. 福井大学情報・メディア工学専攻修士論文. 2008
- 2) 木内 俊介. 反復型数値計算における収束過程の可視化による高速化支援システムの改善. 福井大学情報・メディア工学専攻修士論文. 2009
- 3) MATRIXMARKET <http://math.nist.gov/MatrixMarket/>
- 4) FloridaMatrix <http://www.cise.ufl.edu/research/sparse/matrices/>
- 5) SAGE <http://www.sagecommons.org/>