

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月12日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700125

研究課題名（和文）大規模時系列ボリュームデータ解析・可視化のための高次元データポケットの生成

研究課題名（英文）Pocket of High Dimension Data: A Technique for Analysis and Visualization of Large-scale Time Varying Volume Datasets

研究代表者

宮村 浩子 (MIYAMURA HIROKO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター・研究員

研究者番号：20376859

研究成果の概要（和文）：

近年、数値シミュレーションによって得られるデータは大規模化・高次元化している。そのため、ユーザが出力データに潜む物理的現象のような知見を得ることが困難になりつつある。この問題に対して、本課題では大規模・高次元ボリュームデータを解析・可視化するために、大規模・高次元データの格納機能、テクスチャベースの可視化機能をもつ可視化システムを開発した。本システムを、大規模・高次元データである原子力施設の振動シミュレーション結果に適用し、観察すべき領域を迅速に発見できるという結果を得たことで、開発したシステムの有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

Numerical simulations have recently increased in scale and have often output high dimensional datasets. This makes it difficult for users to quickly grasp physical phenomena involved in such datasets. To overcome this difficulty, we propose an analysis and visualization system for large-scale time varying volume datasets including data storage and texture based visualization techniques. By applying the system to a full-scale three-dimensional vibration simulator for an entire nuclear power plant, we confirmed that the system is a useful to quickly identify appropriate regions of interest.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，メディア情報学・データベース

キーワード：可視化，データ圧縮，時系列データ，ボリュームデータ，数値シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

数値シミュレーションでは、計算機の性能の向上に伴い、ますますモデルの大規模化、時系列の精密化が進んでいる。特に京コンピュータに代表されるスーパーコンピュータを用いたシミュレーション結果では、テラ・ペタスケールのデータが出力されることもある。日本原子力研究開発機構でも、スーパーコンピュータを用いた原子力プラントの振動解析シミュレーションを実施しており、自由度（求める未知数）が1億を超えるようなデータも扱えるようになった。しかし、このような大規模なシミュレーション結果の可視化処理には数ヶ月という時間を要することもあり、可視化処理に要する時間が新たな問題となっている。

また、大規模シミュレーションを実現したことによって、様々な現象のシミュレーションを空間かつ時間方向に細かく実施できるようになり、加えて多くの物理データを扱えるようになった。これは、解析対象となるシミュレーション結果データの高次元化や複雑化を引き起こし、解析・可視化作業をより困難なものにしている。

本研究では、計算機の性能が向上したことによって新たな問題となった大規模データを効率的に扱うためのデータ格納技術について検討する。さらに、複雑化した高次元データから特徴ある時空間領域を特定するための可視化技術について検討する。これら2つの要素技術を用いて、大規模高次元データを解析・可視化するためのシステムである高次元データポケットを開発する。本研究では、開発した技術を原子力プラントの振動解析結果に適用し、その効果も検証する。

## 2. 研究の目的

時系列かつ3次元内部に複数の物理データをもつ高次元ボリュームデータを効率的に解析するための可視化システムを開発することを本研究課題の目的とする。

本研究では、上記の目的を満たすために、以下の2つの課題に取り組む。

### i) 高次元データポケットの開発

大規模時系列ボリュームデータの新しいデータ格納方式である、時空間ボリュームデータ、および可視化手法を提案し、それらを用いて高次元データポケットを生成

### ii) 実問題シミュレーション結果への適用 数億自由度の原子力プラントの振動問題を対象として、実問題シミュレーション結果の特徴解析・可視化を実現

## 3. 研究の方法

本研究は、目的に挙げた2項目を実現するために、以下の課題に取り組む。

### i) 高次元データポケットの開発

#### (1) 時空間ボリュームデータの生成

#### (2) 高次元可視化手法の提案

### ii) 実問題シミュレーション結果への適用

### i) 高次元データポケットの開発

本システムの開発は、「(1)時空間ボリュームデータの生成」と「(2)高次元可視化手法の提案」を実現する手法を開発することで実現する。

#### (1)時空間ボリュームデータの生成

まず、空間3次元データの格納方式として、8分木構造を利用する。これによって空間情報を多段階の詳細度で表現できる。

8分木の各葉ノードには、その空間内での物理量を格納する。この物理量は時間変化を伴う時系列データである。本提案手法では、変化の無い領域に関しては、8分木の上位階層のノードに時系列データを格納し、下位ノードには格納せず、上位ノードを参照させることでデータを圧縮する。

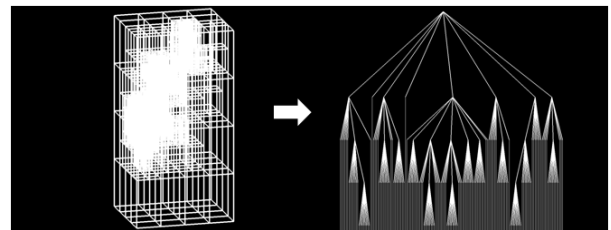


図1 8分木による空間分割と木構造

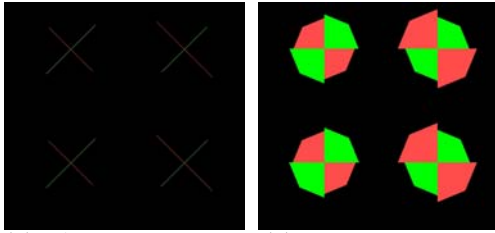
#### (2) 高次元可視化手法の提案

数値シミュレーションでは、複数の物理データを結果として出力する場合がある。複数の物理データは、それぞれが情報をもっているだけでなく、相互関係などの相関もまた重要な情報となる。そこで本研究では、複数の物理データを同時に提示するために、絵画的可視化手法に着目する。

絵画的手法の中でも、ノンフォトリアリステックレンダリング手法で用いられるハッチングと輝度効果を利用する。ハッチングの利用では、まず、物理データ数から属性軸を決定する。可視化したい物理データ数が  $a$  である場合、各属性（属性番号  $i$ ）の  $x$  軸正方向に対する傾きは以下の式で求める：

$$(\pi/a) \times i - \pi/4.0$$

軸にマッピングする属性値は0から格子間隔に正規化したものを使用し、軸方向に描画する線の長さで示す。ハッチングパターンを生成する場合、向きをもった直線で表現するだけでなく、各属性の値の変動、相関をより強調して表示するために幅をもったハッチング線も利用する(図2)。なお、本手法は物理データ数が増加しても、軸を放射線状に取るため対応できる特長をもつ(図3)。



(a) 線による提示 (b) 扇形による提示  
 図2 ハッチング線による情報提示, 物理データ数2の場合

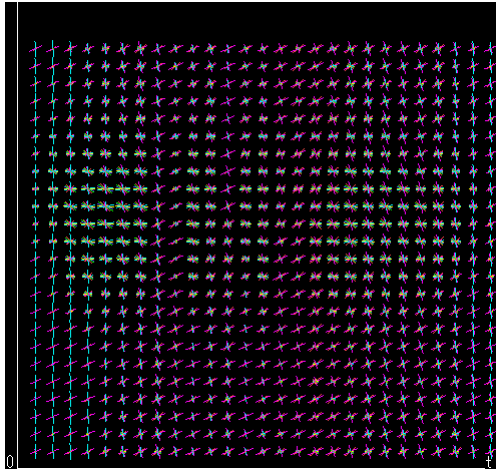
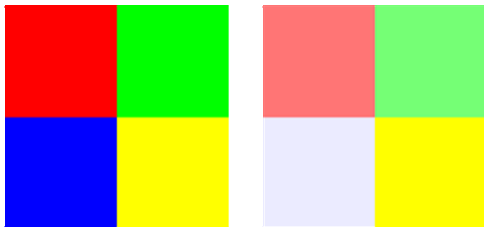


図3 物理データ6の例

輝度効果を利用する場合には, 物理データを描画する領域を物理データ数で等分割し, 物理データを示す各属性番号*i*を色相に, 値の大きさを輝度に割り当てる (図4) .



(a) 色相割り当て (b) 輝度割り当て  
 図4 輝度値による情報提示, 物理データ数4の場合

ii) 実問題シミュレーション結果への適用

日本原子力研究開発機構で取り組んでいる仮想振動台とよばれる原子力施設の耐震解析シミュレーション結果に本手法を適用し, その効果を確認するとともに, 解析者による確認も実施する.

4. 研究成果

葉ノードを横軸, 時刻ステップを縦軸とした2次元空間を生成し, この2次元空間の各

格子に物理値を表わす色を配置することで大規模・高次元データを可視化する.

有限要素法をベースとする組立構造解析法による動弾性解析結果を用いて実験する. 解析対象となるデータは原子力プラントであり, 地震波である S2 波による原子力プラントの応力分布の変動をシミュレートした結果である. 原子力プラントモデルは四面体一次要素で構成されており, 節点数 26,047,774, 要素数 127,077,003 である. 時刻ステップには初期の 70 ステップを用いる.

このデータに対して, 全体を囲むように直方体領域を作成し, 直方体領域に含まれる節点数に応じて再帰的に部分直方体領域に分割した. 直方体領域の分割は 22 回, 葉ノード数は 155 となった. この直方体領域内に含まれるノードの中から最大応力値を求め, その値を色にマッピングした時空間データポケット可視化画像を生成した (図5).

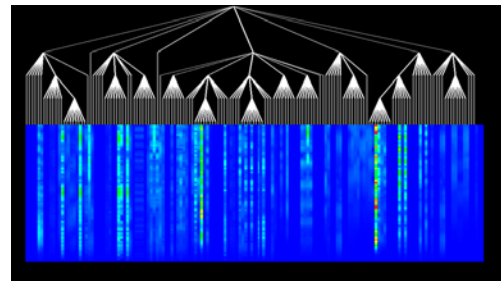


図5 8分木構造と時空間データポケットによって示される時空間可視化結果

時空間データポケットを用いた解析例を示す. 例えば, 応力値が変動し始めた時間タイミングや応力値が変動する周期は, 時空間データポケットによって示される可視化結果の縦方向の値の変動パターンから発見できる. また, 応力値が相対的に高い領域は, 時空間可視化結果上の点として発見できる. これら発見した領域は, 焦点をあてて詳細に観察する.

このとき, 時刻の対応付けは, 時空間データポケットによる可視化結果と解析空間で共通の時間軸を用いているため, 時空間可視化結果上の *y* 座標から時刻ステップを特定できる. 空間の対応付けは, 時空間可視化結果の空間軸座標から対応する 8分木の葉ノードを特定し, 8分木をルートノードに向かって登ることで, 対応する部分直方体領域を特定できる (図6). なお, 変動の無い領域は上位階層から細分化されていないことを確認できる. このことから, データを効率的に格納し, 提示できていることがわかる.

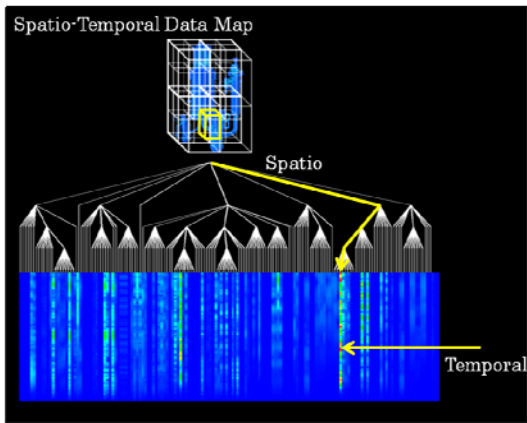
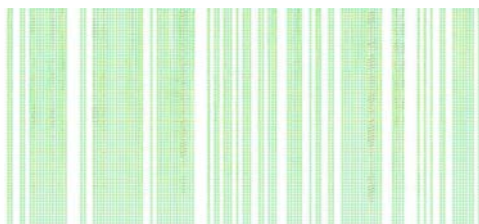
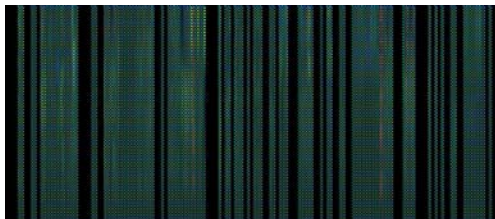


図 6 時空間データポケットの可視化結果から時空間特徴領域情報の取得

また、多変量データを可視化した結果を図 7 に示す。ミーゼス応力値、 $x$  方向の変位量値、 $y$  方向の変位量値、 $z$  方向の変位量それぞれに異なる色相を与える。ここではミーゼス応力を赤、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  それぞれの方向の変位量を黄、緑、青にマッピングした。さらに、図 7(a)では、ハッチング線の長さに値の大きさをマッピングし、図 7(b)では、輝度に値の大きさをマッピングした。これらから、複数の属性の変動パターンを画像の模様として認識できる。



(a) ハッチング線による情報提示



(b) 輝度による情報提示

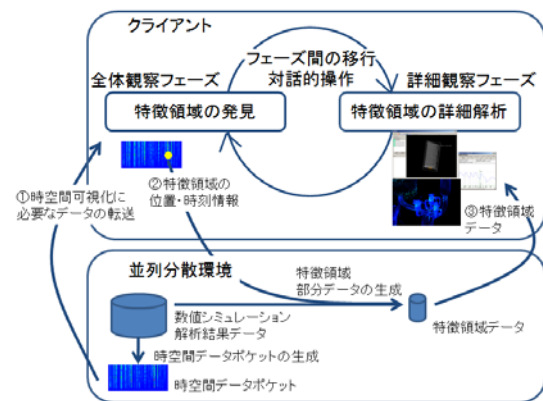
図 7 多変量データの可視化結果

大規模シミュレーションは一般的に高性能なスーパーコンピュータで計算される。そのため、解析作業の効率化を図る上では転送時間も考慮する必要がある。そこで、本課題で開発した技術をクライアント・サーバ環境で実装し、転送も含めた解析の効率化を実現した(図 8)。並列分散環境で得られた大規模データをクライアント側で解析・可視化する際、全体観察フェーズでは並列分散環境で生成した時空間データポケットを用いる。発見した特徴領域の位置・時刻情報を並列分散環

境に送り、特徴領域データをクライアント側に転送する。クライアント側では従来の可視化手法で特徴領域を詳細に観察できる。

ここで特筆すべき点は、従来、シミュレーション結果データを観察するためには、クライアント側に解析結果データすべてを転送する必要があった。しかし、提案手法を用いることで、全体観察フェーズのためには時空間データポケットから時空間可視化画像生成に必要なデータだけを転送すればよい。更に時空間可視化画像から発見した特徴領域は、時空間可視化結果画像上の座標から解析空間の座標に変換でき、その領域だけを抽出して転送できる。つまり、従来の大規模データ可視化の問題点を解決する特長をもちつつ、クライアント・サーバ環境でのデータ転送量の問題も解決できる。

図 8 クライアント・サーバ環境でのシステム構築



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- [1] 宮村(中村) 浩子, 中島 康平, 鈴木 喜雄, 林 幸子, 武宮 博, 中島 憲宏, シミュレーション結果の評価支援のためのデータ調査システム～フォーカスプラスコンテキスト技術によるドリルダウン的調査の実現～, 全 NEC C&C システムユーザー会論文集, CD-ROM, 12 ページ
- [2] 宮村(中村) 浩子, 林 幸子, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 時系列データを眺める技術-データの時間変化を見逃さないためにはどうしたらいいか-, FUJITSU ファミリー会 2009 年度論文, CD-ROM, 15 ページ
- [3] 宮村(中村) 浩子, 大坐島 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 手島 直哉, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 大規模ネットワークデータの可視化, 全 NEC C&C システムユー

- ザー会論文集, CD-ROM, 15 ページ
- [4] Hiroko N. Miyamura, Masatoshi Kureta, Mariko Segawa, Jun Kubo, Takafumi Saito, Yoshio Suzuki, and Hiroshi Takemiya, Visualization of Blurred Images of Liquid by Multi-scale Analysis, Journal of Visualization of Mechanical Processes, Vol. 1, No. 3, 8pages, DOI: 10.1615/VisMechProc.v1.i3.90, 2011.
- [5] Hiroko N. Miyamura, Sachiko Hayashi, Yoshio Suzuki, and Hiroshi Takemiya, Spatio-temporal Mapping -A Technique for Overview Visualization of Time-series Datasets-, Progress in Nuclear Science and Technology, No.2, pp. 603-608, 2011.
- [学会発表] (計 18 件)
- [1] Hiroko N. Miyamura, Yoshio Suzuki, and Hiroshi Takemiya, Spatio-Temporal Map for Time-Series Data Visualization, CCSE Workshop on Advanced Computing Technologies Toward PetaFLOPS, Tokyo, Japan, 2009年4月
- [2] 宮村(中村) 浩子, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 時空間マップによる時系列データの可視化, 計算工学講演会, 東京, 2009年5月
- [3] Hiroko N. Miyamura, Sachiko Hayashi, Yoshio Suzuki, Hiroshi Takemiya, Visualization System for the Evaluation of Numerical Simulation Results, SC09 Poster, Portland, OR., U.S.A, 2009年10月
- [4] Hiroko N. Miyamura, Visualization System for the Evaluation of Numerical Simulation Results, Mini-Symposium in SC09, Portland, OR., U.S.A, 2009年10月
- [5] 宮村(中村) 浩子, 呉田 昌俊, 瀬川 麻里子, 久保 純, 斎藤 隆文, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 多重スケール解析による霧状液体の可視化, 電気学会産業計測制御研究会, 東京, 2010年3月
- [6] 宮村(中村) 浩子, 品野 勇治, 大坐畠 智, 大規模グラフの適応的表示, 第38回可視化情報シンポジウム, 東京, 2010年7月
- [7] 宮村(中村) 浩子, 大坐畠 智, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 適応的可視化による大規模ネットワークデータ解析, 電子情報通信学会 NS 研究会, 仙台, 2010年9月
- [8] Hiroko N. Miyamura, Yoshio Suzuki, Hiroshi Takemiya, Visualization System for Time-series Datasets, Mini-Symposium in SC10, New Orleans, USA, 2010年11月
- [9] Hiroko N. Miyamura, Sachiko Hayashi, Yoshio Suzuki, Hiroshi Takemiya, Spatio-temporal Mapping -A Technique for Overview Visualization of Time-series Data-set-, SNA+MC2010, Tokyo, JAPAN, 2010年11月
- [10] 武宮 博, 宮村(中村) 浩子, 井戸村 泰宏, JAEA における大規模可視化事例, 大規模並列可視化 WS, 東京, 2010年10月
- [11] 宮村(中村) 浩子, 鈴木 喜雄, 武宮 博, 時空間データの可視化, 第38回可視化情報シンポジウム, 東京, 2010年7月
- [12] 鈴木 喜雄, 立川 崇之, 金 奎希, 木野 千晶, 宮村(中村) 浩子, 手島 直哉, 林 幸子, 青柳 哲雄, 武宮 博, 中島 憲宏, 原子力グリッド基盤 AEGIS の研究開発, 第15回計算工学講演会, 福岡, 2010年5月
- [13] Hiroko N. Miyamura, Satoshi Ohzahata, Yuji Shinano, Ryuhei Miyashiro, Adaptive View-Dependent Tree Graph Visualization, The 8th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering, Nakhon Pathom, Thailand, 2011年5月
- [14] 鈴木 喜雄, 宮村(中村) 浩子, 原子力施設の耐震シミュレーションのための妥当性評価システムの研究開発, 第16回計算工学講演会 (OS18「先進並列シミュレーション」), 千葉, 2011年5月
- [15] Hiroko N. Miyamura, Masatoshi Kureta, Mariko Segawa, Jun Kubo, Takafumi Saito, Yoshio Suzuki, and Hiroshi Takemiya, Visualization of Blurred Images of Liquid by Multi-scale Analysis, ASV2011, 新潟, 2011年6月
- [16] 河村 拓馬, 宮村(中村) 浩子, 武宮 博, バイアス関数によるカラーマップ自動調整技術, ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 愛知, 2012年1月
- [17] 宮村(中村) 浩子, 吉田 雅裕, 大坐畠 智, 高橋 成雄, 中尾 彰宏, 川島 幸之助, 大規模ネットワークデータ解析のためのマルチレベルグラフィックアウト, 電子情報通信学会 NS 研究会, 宮崎, 2012年3月
- [18] 佐々木 海, Hsiang-Yun Hu, 吉田 雅裕, 宮村(中村) 浩子, 大坐畠 智, 中尾 彰宏, 高橋 成雄, P2Pネットワーク解

析のためのスケールフリーネットワークの可視化，電子情報通信学会NS研究会，宮崎，2012年3月

〔図書〕（計1件）

矢川元基，伊藤貴之，宮村（中村）浩子他，シミュレーション辞典，コロナ社，2012年

〔産業財産権〕

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮村 浩子 (MIYAMURA HIROKO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・研究員

研究者番号：20376859