

---

---

## 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～

(独) 日本原子力研究開発機構

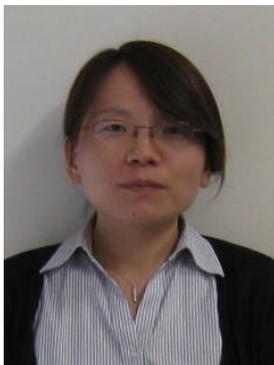
---

### ■ 執筆者 Profile ■



宮村 (中村) 浩子

2004年 東京農工大学大学院生物システム応用科学府  
助手, 2006年より助教  
2008年11月 (独) 日本原子力研究開発機構入社  
計算機科学システムの研究開発担当



林 幸子

2000年 (株) ケイ・ジー・ティー入社  
ソフトウェア開発業務担当  
2007年7月 日本原子力研究開発機構 (出向)  
技術開発協力員  
計算機科学システムの研究開発担当



鈴木 喜雄

2002年 日本原子力研究所入所  
可視化技術研究開発  
2004年 文部科学省研究振興局情報課 (出向)  
2005年 日本原子力研究開発機構に改組  
原子力情報基盤システム研究総括



1989年 日立東日本ソリューションズ (株) 入社  
2003年 産業技術総合研究所グリッド研究センター  
(派遣)  
2008年7月 (独) 日本原子力研究開発機構入社  
システム計算科学センター高度計算機技術  
開発室室長

武宮 博

■ 論文要旨 ■

大規模・複雑シミュレーション結果から特徴的な領域を発見する観察作業のために、解析者は多大な労力と時間をかけている。対象データが時間とともに変化するような時系列データである場合には、観察作業は、ますます困難となる。本研究では、この困難である観察作業を容易にするために、3次元時系列データ全体の特徴を俯瞰的に観察できる画像である時空間データマップを提案する。時空間データマップでは、縦軸に時間、横軸に空間をとり、それぞれの軸で張られる2次元空間上に、シミュレーション結果であるモデルの物理値を色に置き換えて表示する。この時系列データマップを観察することで、本来、さまざまな方向から全ステップシミュレーション結果を連続的に観察する必要があった解析作業を、たった1枚の画像を観察するだけで実現できる。また、画像から得られた特徴をもとに、元データの特徴領域に焦点を当てるフレームワークを提案する。

## ■ 論文目次 ■

<u>1. はじめに</u> .....	《 4》
1. 1 研究の背景	
1. 2 従来の解析・可視化処理	
<u>2. 大規模データ可視化への取り組み事例</u> .....	《 6》
<u>3. 提案手法</u> .....	《 7》
3. 1 空間1次元化	
3. 2 時空間の2次元マトリクス表現	
3. 3 座標対応付け	
3. 4 クライアント・サーバ環境での可視化システムの構築	
<u>4. 実験</u> .....	《 11》
<u>5. おわりに</u> .....	《 14》
5. 1 今後の課題	
5. 2 まとめ	

## ■ 図表一覧 ■

図1 従来の解析・可視化処理 .....	《 5》
図2 原子カプラントのOctree表現 .....	《 8》
図3 OctreeとTree Graph .....	《 8》
図4 Tree Graphと時空間データマップ .....	《 9》
図5 時空間データマップから時空間特徴領域情報の取得 .....	《 10》
図6 開発技術を用いたクライアント・サーバでの解析・可視化処理 .....	《 11》
図7 時空間データマップと特徴領域の可視化結果 .....	《 13》
図8 複数の物理量を示した時空間データマップ .....	《 14》

## 1. はじめに

本論文では、スーパーコンピュータの普及によって新たな問題となっている大規模数値シミュレーション結果の観察・解析作業を、効率的かつ精度よく行なうことを目指して取り組んだ可視化技術開発の成果を発表する。

### 1. 1 研究の背景

近年、さまざまな分野において、実世界での実験に一部代わるものとして数値シミュレーションによる実験が採用されている。数値シミュレーションでは、実世界では実験が難しい経年変化による劣化の観察や、頻繁には起こらない、または起こったことのない規模での現象が生じたときの観察ができるため、多方面の分野で注目されている。

日本原子力研究開発機構でも、原子力施設の耐震性、健全性を解析するために、実世界の実験とともに数値シミュレーションによる実験を導入している。例えば、原子力プラント全体規模の耐震性を評価する 3 次元仮想振動台では、仮想的に作成した原子力プラントモデルが大規模地震の際にどのように変化するのか、または変化しないのかを数値シミュレーションで求めている[1]。この 3 次元仮想振動台の開発によって、実世界では実験できなかった超大規模地震が発生した際の状況をシミュレーションで予測できるようになる。また、得られたシミュレーション結果は、さまざまな視点から観察され、原子力プラントの設計・設置・運用に役立てられる。

数値シミュレーション技術は、先述したように、実世界では実験できないことをコンピュータの中で実現できる点において期待されている。その信憑性を高めるために、実験環境をより現実に近付けることを目指して、対象モデルの詳細な再現、緻密な内外環境の計算モデル化が試みられている。このような取り組みに加えて、計算機の性能が向上したことで、様々な現象のシミュレーション結果を空間かつ時間方向に細かく得られるようになり、実空間での実験に一部代わる運用前評価データとしての信頼性も向上している。

しかし空間かつ時間方向に精密にデータを取得できるようになったことで、シミュレーション結果データが緻密になり大規模化したため、大規模データの詳細な観察・解析が新しい課題となって浮上している。本機構システム計算科学センターで扱う原子力プラントの振動解析では、求める未知数である自由度が 1 億を超えるようなデータも扱われている。このような大規模シミュレーション結果は、ある側面からの可視化処理だけでも数ヶ月という時間を要することがある。可視化処理に膨大な時間を要するために、データの全容を把握することが難しい、全体から特徴領域を発見することが難しい、特徴領域に視点移動して観察することが難しい、といった問題が引き起こされている。そのため、せっかく得たシミュレーション結果を詳細に分析できないこともある。

そこで、大規模時系列シミュレーション結果を分析しやすくするためには、時間的、空間的全体像を俯瞰的に観察でき、特徴領域を容易に絞り込めることが有効であると考えられる。これを実現するために、時空間特徴領域を一目で把握できるような 2 次元画像である時空間データマップを提案する。更に、開発技術をクライアント・サーバ環境で可視化システムとして構築する。本提案技術によって、大規模時系列データの分析が迅速に行なえるようになり、大規模時系列シミュレーション結果の分析だけでなく、将来的にはシミュレーション結果と実空間での実験結果との評価・検証も可能となることが期待できる。

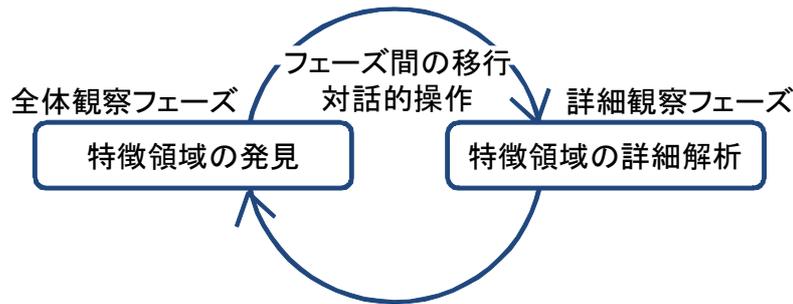


図 1 従来の解析・可視化処理

## 1. 2 従来の解析・可視化処理

まず、従来の方式で数値シミュレーションによって得られたデータを観察し、解析する過程について検討する。ユーザは、初めにシミュレーション結果データの全体を観察する。これを「全体観察フェーズ」と呼ぶ。この全体観察フェーズでは、シミュレーション結果の全体的な特徴を把握するだけでなく、特徴領域を発見する。特徴領域を発見したら次にその領域を詳細に観察して解析する「詳細観察フェーズ」に移行する。詳細観察フェーズでは特徴領域に焦点をあて、様々な視点から可視化することで、データを詳細に分析する。この全体観察フェーズと詳細観察フェーズを繰り返しながらユーザは対象となるデータの理解を深めることができる（図 1）。この処理は、対話的な可視化処理や、対話的なフェーズ間の移行が前提となっているため、大規模複雑データを対象にしたときには以下の問題が発生する。

- ・ 特徴領域の発見が困難
- ・ 複雑な時間変動の把握が困難
- ・ フェーズ間の移行で、対話的操作が困難

「特徴領域の発見が困難」とは、大規模データは様々な方向から観察することができないため、他の部品の背面に隠れてしまった領域を見逃してしまう恐れがあることを意味する。また、全体に対して非常に微小な領域は、全体を可視化した結果では潰れて表示されないという問題もある。「複雑な時間変動の把握が困難」は、ヒトの目が時間をかけて徐々に変化する対象に対して、わずかな変動を正確に捉える事が難しいという特性をもつために生じる問題である。時空間的な特徴を捉えるには、従来、対象となるモデルの時間方向の変化アニメーションを作成し、観察するという方法がとられている。しかし、ヒトの目は時間をかけて変化する変動を正確に捉える事が難しいため、この方法では時間方向の微小な変化を見落とす恐れがある。また、ある一方向からの観察では、背後や内部に隠れた値の変動を見落とす恐れがあるが、視線方向を変えながら時間変動を観察することはできない。最後に「フェーズ間の移行で、対話的操作が困難」については、全体観察フェーズで発見した特徴領域に視線を近付ける際、描画に時間を要するためにスムーズな移動ができない。そのため、せっかく発見した特徴領域を見失ってしまうことが多々発生する。

このように、解析対象データの大規模化によって従来の解析・可視化処理では十分な分析が実現できないという問題が発生する。そこで、本研究では、これらの問題を解決し、大規模時系列データから特徴領域を発見したり、時間変動による特徴領域を発見し、その領域に焦点をあてて詳細に観察できる可視化技術を提案し、その可視化技術を用いた解析・可視化処理の体制を提案する。

## 2. 大規模データ可視化への取り組み事例

大規模データの可視化研究に着目する。現在並列分散環境で得られる大規模データは 1 台のコンピュータでは可視化できない程大規模化しており、このようなデータを可視化するためには可視化処理を並列分散環境で行なうクライアントーサーバ環境での可視化がなされている。クライアントーサーバ環境での可視化では、サーバ側で複数の可視化結果画像を作成し、画像をクライアント側に転送する手法が提案された[2]。これによって、クライアント側では可視化できない程大規模なデータの可視化が実現され、クライアント側に転送されてきた可視化結果画像を観察することで対象データの特徴を把握することができるようになった。この手法では、クライアント側でシミュレーション結果の全体的な特徴の把握と特徴領域の発見が可能となるように、様々な可視化パラメータを少しずつ変えて設定し、大量の画像を生成する。そしてこの大量の画像をクライアント側に転送する。つまり、図 1 の解析・可視化処理において全体観察フェーズで行なっていた俯瞰的観察を、大量の可視化結果画像を閲覧することで実現する。しかし、詳細観察フェーズに必要な特徴領域に焦点をあてた可視化を実現するためには、再度サーバ側で特徴領域に焦点をあてた可視化結果画像作成する必要があり、フェーズ間の対話的な移行は難しい。

一方、生成する画像を絞り込む手法も提案された。生成する画像を絞り込むために、知的認識[3]、位相的特徴解析[4]など、データの特徴を自動的に解析して可視化する研究がなされている。これらの技術は、ユーザの見た領域をダイレクトに表示するため、「全体観察フェーズ」を飛ばしてユーザに「詳細観察フェーズ」の情報を提示するものである。この方式では、見た領域の特徴をあらかじめ設定できたり、予測できたりする場合には有効であるが、未知のデータを様々な視点で観察するには不向きである。

われわれは、見た領域はユーザによって異なるため、これらの技術のようにヒトの介入なしに可視化画像を生成するのではなく、観察者が目的に応じて設定した特徴に合わせて、特徴領域を発見し、その領域に焦点をあてて詳細に解析できるような、図 1 に示す解析・可視化処理が有効であると考えた。そのためにも、時間的、空間的全体像を俯瞰的に観察でき、更に特徴領域を容易に絞り込める情報の提示手法が必要である。

このような視点から大量情報の提示手法に着目すると、情報可視化の分野においてユーザの選択操作によって特徴領域を特定する手法が開発されている。例えば、スプレッドシートに大量の結果画像を提示し、観察者が取捨選択しながら必要な画像に近づいていくデータ探索手法がある[5]。これはデジタルカメラで撮影された画像や Web 上に置かれた大量の画像から必要な画像を見つけ出すときに利用されており、その技術を大規模データ可視化の分野でも利用したものである。また、パラレルコーディネイトという、複数の軸を平行にならべて多変量データのグラフを作成する情報可視化手法も提案されている[6]。この手法を用いると、複数の数値データが変動する様子をグラフから把握し、シミュレーションの際のパラメータを容易に設定することが期待できる。本研究では、これらの技術をそのまま使うのではなく、コンセプトを利用した新しい情報提示手法を開発する。スプレッドシートでは画像を提示していたが、本研究では物理量を色にマッピングして提示することで全体像を把握できるようにする。また、多変量データに対しては、パラレルコーディネイトで用いられている複数の軸を設置する考え方を利用する。このようにして新しい全体観察フェーズの情報提示技術を開発する。

### 3. 提案手法

本研究では、大規模時系列データに対して、まず「全体観察フェーズ」で全体的な特徴を把握できるとともに、特徴領域を発見できる可視化技術「時空間データマップ」を提案する。時空間データマップは、4次元（時間1次元+空間3次元）を2次元（時間1次元+空間1次元）に投影することで、ヒトが特徴を把握しやすい形で情報を提示する。このとき、先に挙げた大規模化によるデータ解析・可視化の問題を以下の手段で解決するものとする。

- ・ 特徴領域の発見が困難：  
空間3次元を1次元化することで、見えない領域をなくす
- ・ 複雑な時間変動の把握が困難：  
時空間変動を2次元マトリクス空間に投影し、静止画として変動を提示する
- ・ フェーズ間の移行で、対話的操作が困難：  
2次元空間に投影した時空間情報と4次元の解析空間の座標を対応付ける

#### 3.1 空間1次元化

3次元空間に分布したモデルの空間情報を、空間分割によって1次元に投影する。空間の1次元化に関しては、Time-Space Partitioning[7]が提案されており、時空間コヒーレンスを利用した時空間分割によってデータを格納した。これによって、レンダリングの高速化を実現した。本研究では、Time-Space Partitioningと同じ考え方にに基づき、Octreeによる階層構造で3次元モデルを表現する。

Octreeによる階層構造を生成するには、まず、モデルを覆い囲む直方体領域を作成する。次に、直方体領域を $x$ ,  $y$ ,  $z$ それぞれの軸方向に二等分し、8つの部分直方体領域に分割する。以降、条件を設けて条件を満たす部分の直方体領域を再帰的に分割する（図2）。この分割の条件としては、部分直方体領域に属するモデルの物理値の幅、物理値のエントロピー、節点数、要素数、体積などが挙げられる。このとき、注目する特徴を分割の条件に用いることで、特徴の大きな領域は深い階層まで再分割されることとなる。

上述の処理によって部分直方体領域に分割したデータは、初めに3次元モデル全体を囲んだ直方体領域をルートノードとし、再分割された部分直方体領域のデータは、分割前の直方体領域を親ノードとする、階層構造データとして扱われる。この階層構造データはTree Graphで描かれる。図3に原子カプラントデータのOctree表現とそのOctreeをTree Graphで表示した結果を示す。このTree Graphの葉ノードは、最終的に得られた部分直方体領域になり、この並びを空間軸として利用する。なお、ここで直方体の再帰的分割に注目する特徴量を用いることで、特徴領域は深い階層まで再分割された。そのため、これらの領域はTree Graph上でも深い階層に位置し、1次元化した空間軸上で、他の上位階層と同じ大きさの領域を割り当てられることがわかる。つまり、特徴量に応じた分割を採用したことで、従来の可視化では潰れてしまうほど微小な領域に対しても1次元化の際に適切な領域を割り当てられる。

なお、空間軸方向の解像度は、空間分割回数によって決まる。そのため、空間分割回数は、分割の際の条件だけでなく、時空間データマップの横軸解像度も考慮して決定される必要がある。

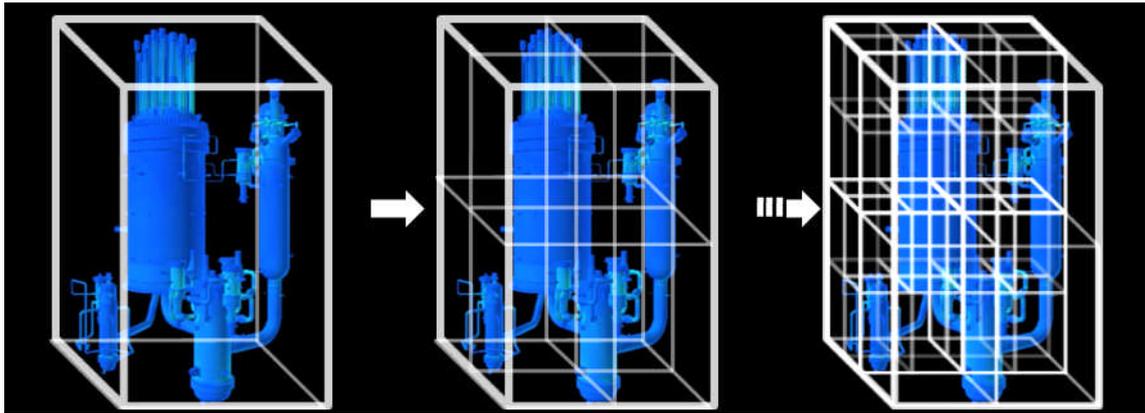


図 2 原子カプラントの Octree 表現

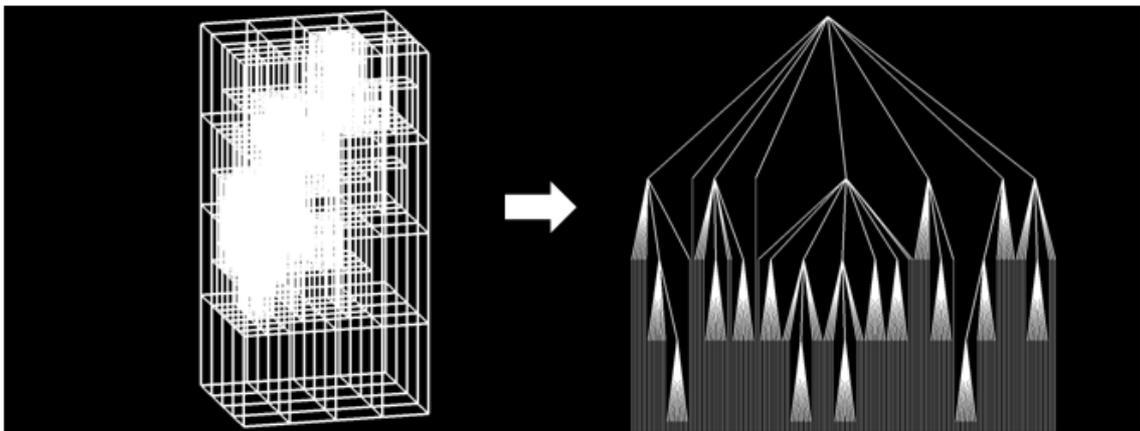


図 3 Octree と Tree Graph

### 3. 2 時空間の 2 次元マトリクス表現

Time-Space Partitioning[7]では、空間分割による Octree の各ノードは時系列データの二分木をもつ。これはボリュームレンダリングの高速化を目的としているためである。本研究では、情報の提示を目的としているため、葉ノードに時系列情報をすべてもたせて提示する。そのために、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。

横軸は 3 次元モデルの節点ではなく部分直方体領域の並びとなっているため、各格子には複数の節点が属し、節点の数だけ物理値が存在する。そのため、代表値を設定する必要がある。物理値の平均、最大、最小、分散等、ユーザが着目する対象に合わせて代表値を設定する。今回用いた原子カプラントの振動解析では、ミーゼス応力であれば、応力集中のような、ある物理値が大きくなる領域に着目する。また、変位量であっても変位の大きい領域やその大きさの変動に着目する。そのため、今回の適用実験では代表値に最大値を設定することとする。このようにして得られた時空間データマップを図 4 に示す。横軸は Octree を Tree Graph で表わしたときの葉ノードの並び、つまり 1 次元化した空間を表している。縦軸は下から上に向かって時間ステップの進行を表わしている。このようにしてできた 2 次元空間上では、各部分領域での物理値の変化は帯状で表現されており、それが

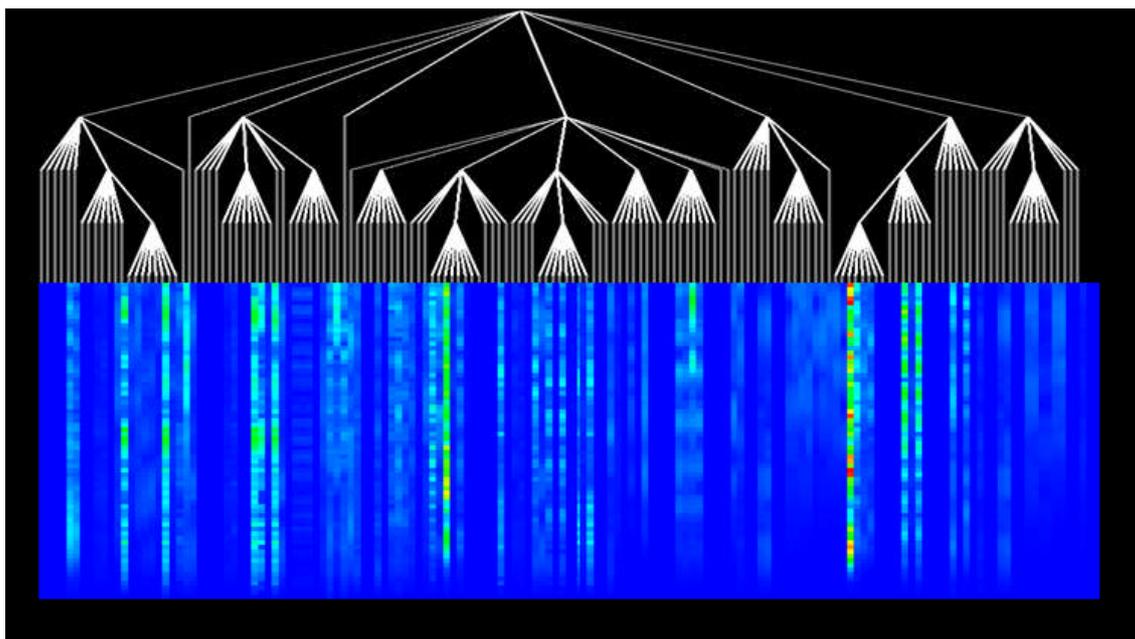


図 4 Tree Graph と時空間データマップ

部分領域数分作られ、横軸方向に整列している。色は応力値をマッピングしており、青から赤になるにつれて大きな値となる。このグラフは、帯状の列を縦方向に観察することで、その部分領域での物理量の変動を捉えることができ、これを横方向も併せて観察すると、全体的な値の変動や波形を捉えることができる。

なお、この Octree 生成における分割の条件としては、図 3 では部分直方体領域に属するモデルのノード数を用いている。つまり、各空間領域（葉ノード）では、そこに属するモデルのノード数が、ある一定基準以下に抑えられている。領域分割の判定は 4 回行なったため、Tree Graph は 4 階層グラフとなっている。

実際に扱う数値シミュレーションデータは、複数の数値データをもつ。そこで、多変量データを時空間データマップで示すことを検討する。本論文で扱っている原子力プラントの振動解析結果データは、図 4 で示したミーゼス応力値の他に、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  それぞれの方向の変位量をもっている。この変位量も合わせて可視化することを試みる。

1 枚の可視化結果画像内に複数の物理値を提示するに、以下の 2 つの方針を立てる。

- ・ 明るさ、彩度など色相以外の色情報を利用
- ・ アイコンベースの可視化手法を利用

まず、明るさや彩度に着目して、多変量データを可視化する。原子力プラントの振動解析結果データは 4 つの物理量をもつので、ミーゼス応力値、 $x$  方向の変位量値、 $y$  方向の変位量値、 $z$  方向の変位量値それぞれに異なる色相を割り当てる。そしてそれぞれの値の大きさを明るさにマッピングする。また、提示する物理量が 4 つであるため、ある時刻のある領域の色を割り当てていた時空間データマップ上の長方形領域を 4 分割して、4 つの物理量の値を示す領域を作る。これによって、値の大きさを明るさから、値の種類を色相から得ることができ、それぞれの物理量の相関も把握できる。

次にアイコンベースの手法について説明する。アイコンベースでは、スターアイコン[8]

に代表されるような多変量データをアイコンとして表現する手法を応用的に利用する。ある時刻のある領域の色を割り当てていた時空間データマップ上の直方体領域の中心から変量数分放射状に軸をとる。この軸上に各物理量の値を長さにマッピングして線を引く。これによって形成されたアイコンが集合体として模様を作り出すことで全体の傾向を読み取ることができる。この手法では、無限に軸を設定できるので、扱う物理量が大量になった場合にも対応できる。また、テクスチャ化した可視化結果から、全体的な傾向をテクスチャパターンとして認識できる。

### 3.3 座標対応付け

時空間データマップは、横軸に空間、縦軸に時間をもつ 2 次元画像である。この画像から特徴領域を探索する。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、時空間データマップ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、時空間データマップ上の点として発見できる。これら発見した領域は、次に「詳細観察フェーズ」で焦点をあてて詳細に観察する。つまり、時空間データマップ上の座標から、解析空間座標への対応付けが必要になる。

時刻の対応付けは、時空間データマップと解析空間で共通の時間軸を用いているため、時空間データマップ上の 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、時空間データマップの空間軸座標から対応する TreeGraph の要素を特定し、Tree Graph 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 5)。

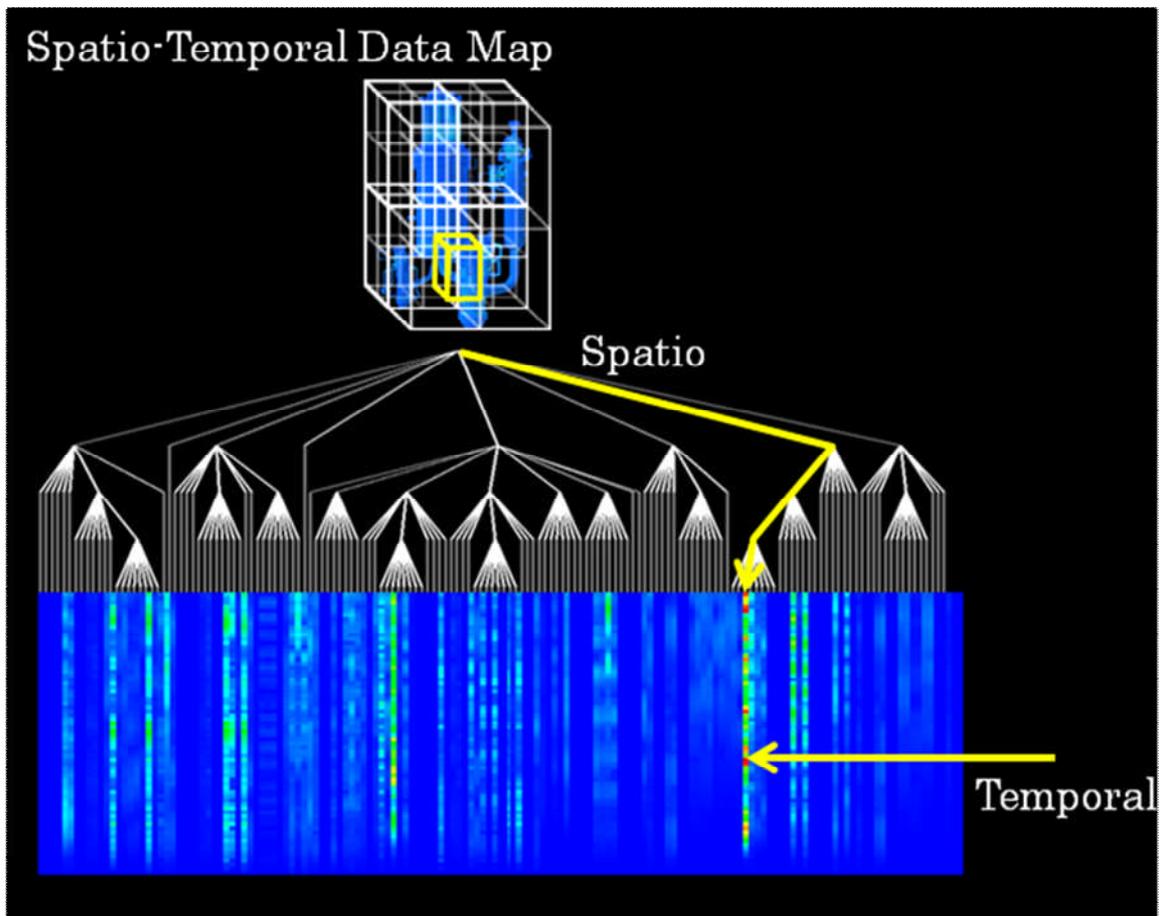


図 5 時空間データマップから時空間特徴領域情報の取得

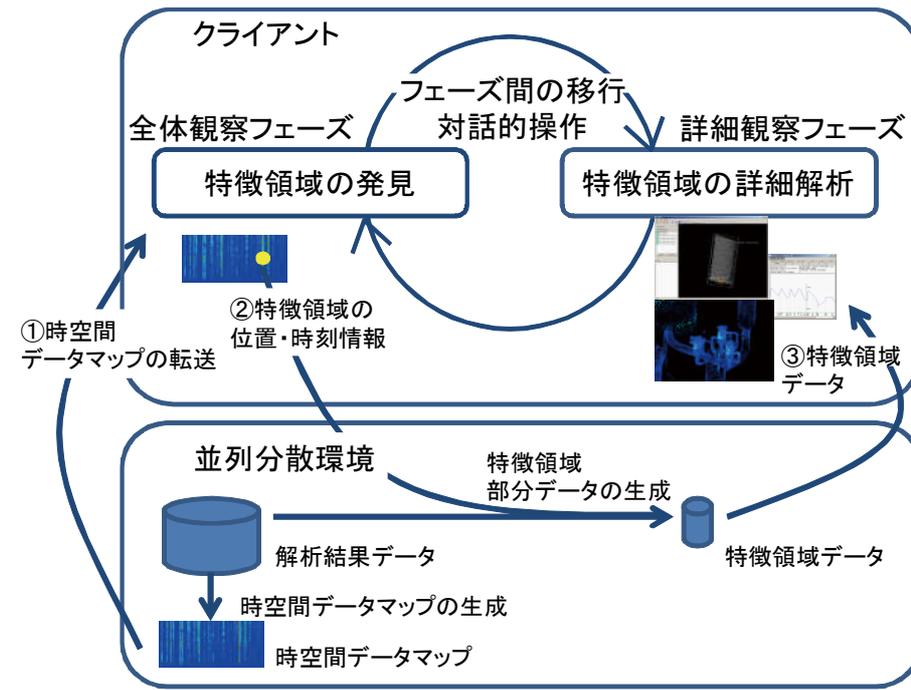


図 6 開発技術を用いたクライアント・サーバでの解析・可視化処理

### 3. 4 クライアント・サーバ環境での可視化システムの構築

本技術をクライアント・サーバ環境で実装した (図 6) . 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マップを用いる。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、全体観察フェーズと詳細観察フェーズを繰り返しながらシミュレーション結果データを理解するためには、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マップだけを転送すればよい。更に時空間データマップから発見した特徴領域は、時空間データマップ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。

## 4. 実験

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カプラントであり、地震波である S2 波による原子カ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。原子カ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マップを生成した (図 7)。

この結果から得られる情報を考察する。まず、構造物の解析では、地震波から生じる現象が正しくシミュレーションされているかどうかの確認を行なう。これは、3 次元形状モデルの正しさ、シミュレーション計算モデルの正しさを確認することを目的としており、経験的に得ているデータの分布とのずれがないかどうかを確認する。この場合、想定外の値 (例えば非常に大きな値) をもつ領域がないか、地震の揺れと同期した値の変動を得ているかを確認する。つまり全体の分布が想定したものになっているかどうかを調べる必要がある。本時空間データマップでは、値の大きな領域は局所的に赤に近い色で表現されるため、その発見が容易である。また、時間とともに変動する値の分布に関しては、縦方向の縞模様として認識できるので把握が容易である。これらのことから、結果データの確認に時空間データマップは有用であるといえる。なお、図 7 に示す本適用結果から発見した相対的に値が大きい領域では、想定内の値であることが確認できた。また、全体に横じまの模様が見られることから、入力した波動の影響を受けて計算がなされていることがわかる。

シミュレーション結果の妥当性が確認できたら、次にそのデータを詳細に解析する必要がある。データの解析では、他の領域と比較して値の分布に特徴がある領域を特定する必要がある。図 7 の時空間データマップでは、ある一部の部分領域で相対的に高い応力値が発生していることがわかる。このことを踏まえ、Tree Graph と併せて観察することでこの領域の座標を得ることができる。この領域は 4 回分割した直方体領域であり、モデルの内部にあたることがわかった。そこで、この領域が正面になるように回転し、ズームインして観察する。今回は十字グリフを使用し、応力値をグリフの色と大きさに割り当てた。この結果から配管部分に応力値が生じていることがわかる。

次に、全体的な応力値変動に着目して観察する。構造解析結果を観察するうえでは、急な値の変動が生じていないかどうかを観察する必要がある。本データマップでは、縦軸方向に追って色の変化の様子を観察することができ、その様子から、値の変化率を視覚的に捉えることができる。先に発見した他の領域と比較して値の分布に特徴がある領域では、時間方向に観察した時の値の変動も大きいことがわかる。そこで、この領域を抽出し、時間方向のアニメーションを作成して観察することで、この領域での現象をより詳細に観察できる。また、全体的に値が変動する時間帯を特定し、その時間帯でモデル全体を観察できる角度で可視化することや、特定した時間帯の前後も含めてアニメーションを作成し、観察することもデータを解析する上で有効である。更に他の領域と比較して時間方向の色分布の波が異なる領域も見られる。このような領域では、入力した地震波と異なる周期で値の変動が起こっている可能性がある。

このように、3 次元時系列データを観察するだけでは得ることが困難であった情報を、2 次元画像を観察することで得ることができる。これらの情報は、次に詳細に元データを観察する際に有効である。つまり、本研究で提案した時空間データマップは、全体かつ局所的な情報を取得できるだけでなく、膨大な 3 次元時系列データである元データに対して、観察者が必要な視点で情報を絞り込むことができる有用なものである。

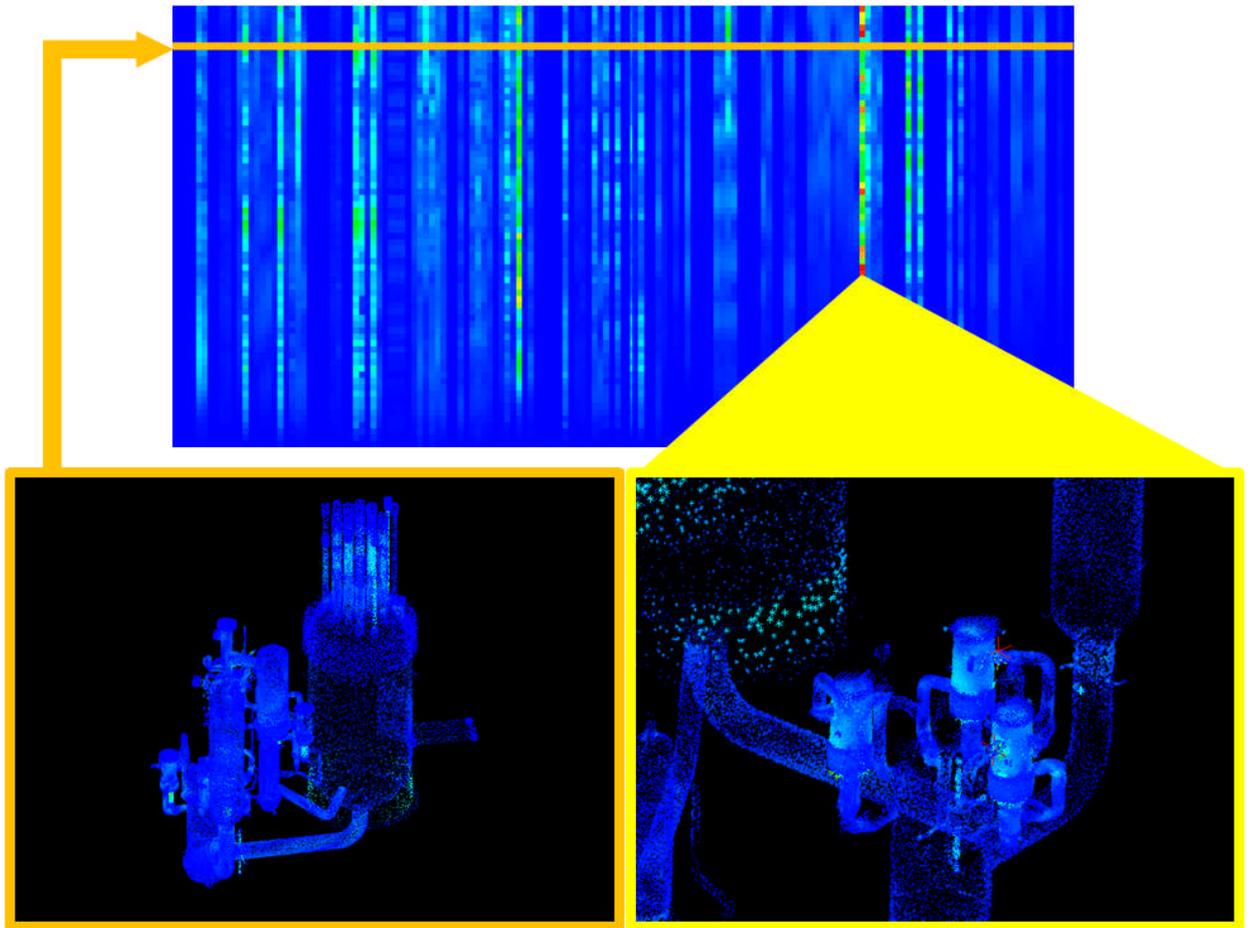
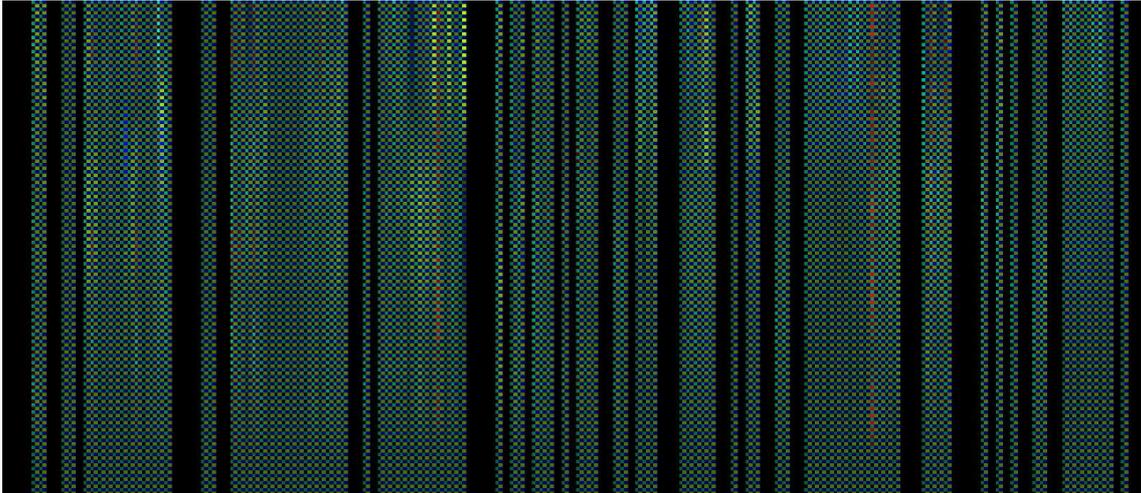
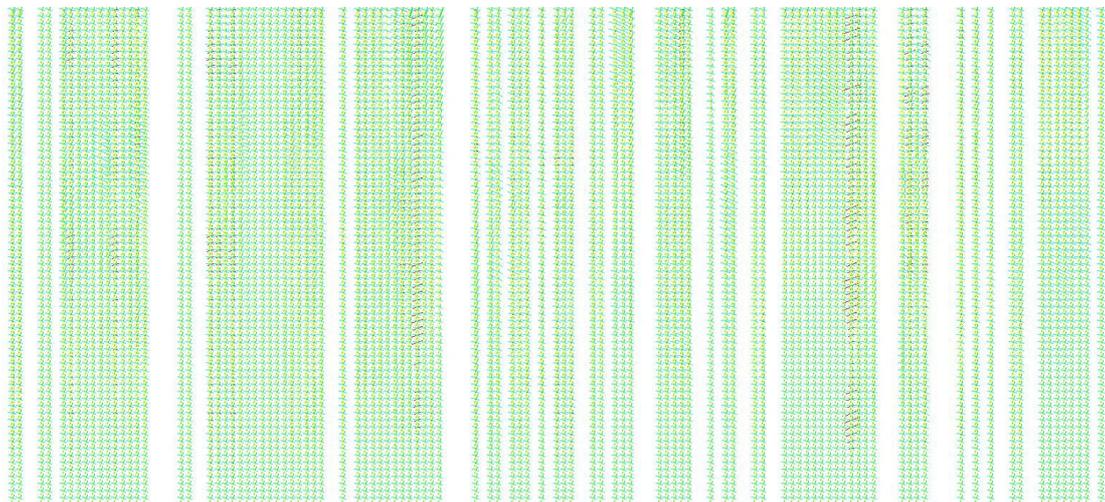


図7 時空間データマップと特徴領域の可視化結果

また、多変量データを可視化した結果を図8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8(a)では、明るさに値の大きさをマッピングし、図8(b)では、アイコンを構成する線の長さ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。しかし、現状では異なる物理量の相関を捉えるには至っていない。今後検討していく。



(a) 明るさに値をマッピング



(b) 線の長さに値をマッピング

図8 複数の物理量を示した時空間データマップ

## 5. おわりに

本論文では，数値シミュレーション結果の時間及び空間的な分布を一目で把握できる俯瞰的可視化手法，時空間データマップを提案した．

### 5. 1 今後の課題

現在，空間軸の設定では，Octree に代表されるように空間を分割している．この空間分割では，分割領域の境界に位置するデータ同士が，実空間では非常に近いにも関わらず時空間データマップ上では遠くに配置される可能性がある．3次元空間を1次元に投影するために失われる情報が存在することは回避できないが，より効果的に空間情報を示すための空間軸の設定に関して検討していく．

また，時空間データマップからは元のモデルの形状を予測することができない．そこで，例えばハイブリッドイメージ[9]のように，異なる周波数を用いて時空間データマップと元のモデル形状を示すなど，非写実的画像生成技術等応用利用することを検討する．

## 5. 2 まとめ

本研究では、大規模数値シミュレーション結果を俯瞰的に可視化する手法である時空間データマップを提案した。またこの時空間データマップから時空間的な特徴ある領域をユーザの視点で見出し、その領域を詳細に観察する解析・可視化方式を提案した。更にこの技術を用いて、クライアント・サーバ環境において大規模時系列データの効果的かつ転送量を抑えた可視化システムを構築した。

本提案手法を原子力プラントの振動解析結果に適用し、全体的な特徴から詳細な特徴までを取得でき、大規模時系列数値シミュレーション結果の解析に貢献できることを確認した。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、データを提供していただいた日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 高温工学試験研究炉部 HTTR 運転管理課諸氏に感謝いたします。本研究は科学研究費補助金若手 B (21700125) 及び基盤研究 B (21300020) の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 西田 明美, 松原 仁, 田 栄, 羽間 収, 鈴木 喜雄, 新谷 文将, 中島 憲宏, 近藤 誠: 原子力プラントのための3次元仮想振動台の構築: 組立構造解析法による巨大施設解析システムの提案, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 376-382, 2007.
- [2] S. Doi: RVSLIB: A Library for Concurrent Network Visualization of Large-Scale Unsteady Simulation, *SPEEDUP Journal*, Vol. 11, pp.59-65, 1997.
- [3] 白山 晋: 知的可視化, 丸善, 2006
- [4] I. Fujishiro, R. Otsuka, S. Takahashi, and Y. Takeshima: T-Map: A Topological Approach to Visual Exploration of Time-Varying Volume Data, *Springer Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4759, pp. 176-190, 2008.
- [5] T. Jankun-Kelly and K.-L. Ma: Visualization Exploration and Encapsulation via a Spreadsheet-like Interface, *IEEE TVCG*, Vol. 7, No. 3, pp. 275-287, 2001.
- [6] M. Tory, S. Potts, and T. Möller: A Parallel Coordinates Style Interface for Exploratory Volume Visualization, *IEEE TVCG*, Vol. 10, No. 1, pp. 71-80, 2005.
- [7] H. W. Shen, L. J. Chiang, and K. L. Ma: A fast Volume Rendering Algorithm for Time-Varying Fields Using a Time-Space Partitioning (TSP) Tree, In *Proc. of IEEE Visualization '99*, pp. 371-377, 1999.
- [8] J. Abello and J. Korn: Mgv: A System for Visualizing Massive Multi-digraphs, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 8, No. 1, pp. 21-38, 2002.
- [9] A. Oliva, A. Torralba, and P. G. Schyns: Hybrid Images, *ACM Transactions on Graphics (ACM SIGGRAPH2006)*, Vol. 25, No. 3, pp. 527-532, 2006.