

## 共同可視化解析支援システムの提案

武宮博<sup>\*1</sup> 橋祐一<sup>\*1</sup> 布川博士<sup>\*2</sup> 宮崎正俊<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> 日立東北ソフトウェア

<sup>\*2</sup> 東北大学電気通信研究所

<sup>\*3</sup> 東北大学大学院情報科学研究科

### 概要

科学計算の大規模化、複雑化に伴い、研究形態が従来の単独の研究者によるものから複数の研究者による共同研究へと変化している。そのため、複数の研究者が計算結果を可視化することによる共同解析を支援するシステムが必要となってきた。

本稿では、共同可視化作業をモデル化し、それを支援するために必要な機能を考察する。また、その機能を実現するための方法としてビュー概念を提案する。

### キーワード

可視化, 科学計算, 分散環境, グループウェア, ユーザインタフェース

## Scientific Visualization System on the Distributed Environment to Support Data Analysis by the Team

Hiroshi Takemiya<sup>\*1</sup> Yuichi Hashi<sup>\*1</sup> Hiroshi Nunokawa<sup>\*2</sup> Masatoshi Miyazaki<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup>Hitachi Tohoku Software Ltd.

<sup>\*2</sup>Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

<sup>\*3</sup>Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

### Abstract

Scientific computing comes to treat large and complex phenomenon. It makes scientists' working style change from studying individually to studying by the team. The team member must analyze their data cooperatively to create common mental image.

In this paper, we propose scientific visualization system on the distributed environment to support such data analysis. First, we modelize cooperative data analysis and functions necessary to support it. And we introduce the View concept to impliment these functions.

### Keyword

Scientific Visualization, Scientific Computing, Distributed Environment, User Interface, Groupware

## 1. はじめに

近年の計算機の能力の増大、可視化アルゴリズムの進展に伴い、科学計算において可視化を用いたデータ解析（可視化解析）が一般化してきた。また、数値解法の進歩に伴い、これまで不可能だった現実的なシミュレーションが可能となってきている。例えば、3次元の飛行物体回りの流れを計算し、風洞実験の結果と比較したり、ビルの回りの流れとビルの強度を連成計算するといったことが挙げられる。その結果、単独の研究を行なうのではなく、分野横断的、あるいは企業の部門横断的な共同研究が行なわれるようになってきた。上記の例でいえば、実験を行なう研究者と数値計算を行なう研究者、あるいは流体分野の研究者と構造解析分野の研究者のような形態の共同研究である。

このような形態の共同研究では、可視化解析により現象を理解するために、各分野の研究者の持つ単独の知識だけでは不十分であり、各分野、部門の研究者が知識を持ち寄って共同で行なう必要がある。そのため、従来は各研究者が一人で集まり一台の計算機を前に解析を行ったり、互いに解析結果を送付し結果を吟味しあう事によって共同解析を行なう事が一般的であった。しかし、前者の形態は地理的制約、時間的制約を伴うという問題が存在する。また、後者の形態はそれらの欠点を補うことができるが、送付される結果が一般に印刷されたものであるため柔軟性に乏しく、送付先で結果を基に再解析することが難しいという問題が存在する。そのような問題を解決するために、分散環境を介した複数の作業員（解析者）による共同解析という新しい解析形態が考えられるようになってきた。

この状況に対応するために、今後の可視化システムには統合された高度な解析システムが必要とされている。すなわち、従来のように単一の解析者に単に画像のみを提供するだけでなく、分散環境で複数の解析者によって行なわれる可視化解析（共同可視化解析）を支援するためのシステムである。

このようなシステムを構築するためには、共同可視化解析作業をモデル化し、そのモデルに従ったシステムを分散環境上に構築しなければならない。本稿では、解析者のメンタルイメージの生成、解析者間でのメンタルイメージの共有、統合化の概念に基づく共同可視化解析モデルを提案し、そのモデルを実現するための方法として、ビューの概念を提案す

る。

## 2. 可視化解析の分析

### 2.1 可視化解析

現象の解析とは、未知なる対象から何らかの方法により我々に理解できる形でさまざまな情報を引き出し、それらの情報を関連付けることによってその対象に対する一つのメンタルモデルを形成することである。

可視化解析とは、この解析作業の一形態であり、情報の引き出しのために画像を用いる方法である。一般に可視化解析は以下の順に進行する(図1)。すなわち、

#### (A)ディスプレイイメージ生成フェーズ

(1)解析対象から抽出したデータ（本稿では原データと呼ぶ、例えばスーパーコンピュータなどで求めた数値データ）を画像用データ（本稿では可視化データと呼ぶ）に変換する。

(2)可視化データから直観的な画像（本稿ではディスプレイイメージと呼ぶ）をディスプレイ上に生成する。

#### (B)メンタルイメージ形成フェーズ

(3)ディスプレイイメージを解釈することにより解析対象に対するメンタルモデル（本稿では特にメンタルイメージと呼ぶ）を形成する。

(4)さらに、得られたメンタルイメージの正当性を検証するために、次にどのようなディスプレイイメージを生成するかを決定する。

可視化解析は、メンタルイメージ形成フェーズとディスプレイイメージ生成フェーズを何度も繰り返すことによって進行していく。すなわち、ディスプレイイメージの生成がメンタルイメージの形成を促進し、逆に、メンタルイメージを形成することによって新たなディスプレイイメージの生成が促進さ

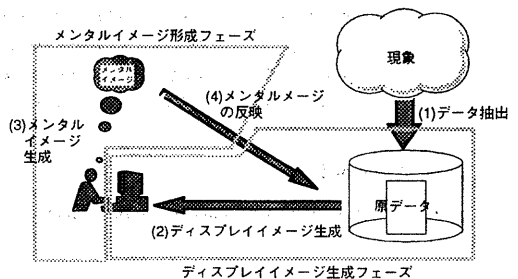


図1. 可視化解析

れる。そして、種々の側面からディスプレイイメージを生成すること(例えば、密度、圧力等種々の物理量の可視化、種々の空間的視点からの可視化)により、解析対象に対するメンタルイメージを形成し、それらを統合することにより、最終的に解析対象に対する一つのメンタルイメージを形成する。

以上の考察より可視化解析の本質は以下のように結論することができる。すなわち、それは、ディスプレイイメージを介して、対象に対するメンタルイメージを形成し、更に新たなディスプレイイメージにそれを反映させることを繰り返すことによって統合的なメンタルイメージを形成すること、である。

## 2.2 共同可視化解析

共同可視化解析とは、解析対象に対して複数の解析者により行なう可視化解析である。共同可視化解析の一般的な形態として、1章で述べた分野横断的な研究における解析が考えられる。この形態の特徴は、個々の解析者が各々異なる分野の専門知識を有することである。そのため、解析者は一つの現象に対し、各々の興味のある側面から解析を行なっていく。その時、ある解析者が得たメンタルイメージの正当性を検証するために他の研究者の知識がしばしば必要になる。例えば、シミュレーション結果と実験結果の比較を行なっている場合、シミュレーション結果を解析することによって得られた現象の特徴が、数値的なエラーなのか現象を正しく反映しているのかを検証するためには、実験結果を解析している研究者の知識が必要である。従って共同可視化解析では、自分の持つメンタルイメージを他の解析者に伝達し、それを両者で検討しあうことによりメンタルイメージの正当性を検証することが行なわれる(メンタルイメージの共有)。

以上の考察により共同可視化解析の本質は以下のように結論することができる。すなわち、それは、

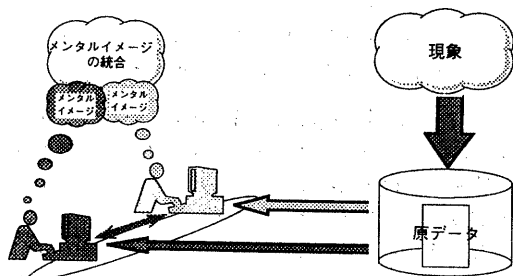


図2. 共同可視化解析

個々の解析者が独自の観点から現象を解析しつつ、メンタルイメージを共有しそれを検討しあうことを繰り返すことによって共同解析者間で統合化されたメンタルイメージを形成すること、である(図2)。

## 2.3 従来のアプローチとの比較

従来の可視化解析支援システムは、上記の可視化作業のうちディスプレイイメージ生成フェーズの支援を目的としている。すなわち、利用者に円滑に画像を生成させることを目的とするものである。この目的のために、現在、データフローに基づくビジュアルプログラミングパラダイムが提唱されている[1],[2]。データフロー概念に基づくビジュアルプログラミングパラダイムとは、可視化処理(のディスプレイイメージ生成フェーズ)における基本的な処理をモジュールとして切り出し、利用者にそれらを組み合わせさせることによって希望する可視化処理を行なわせるという考え方である。このアプローチの特徴は、以下の点である。

(1)モジュールは他のモジュールからデータを受け取る入力ポートと、処理結果をさらに別のモジュールに送出する出力ポートを持つものとして定義される。

(2)モジュールはGUIを通してビジュアルに表示され、利用者は画面上で個々のモジュールを連結するだけでモジュール間のデータの流れを決定し、ディスプレイイメージを生成することができる。

このアプローチの利点は以下のようにまとめることができる。

(1)解析者は柔軟な可視化処理を望んでいるが、コードレベルで処理を記述したいとは思っていない。データフローのモジュールは処理の抽象化を実現している。

(2)上記のディスプレイイメージ生成作業の流れは、数値データから可視化用データ、さらにディスプレイイメージへという一方向のデータの変換の流れ(インフォメーションフローモデル[3])として捉えることができる。この流れとデータフロー概念との適合性がよい。

(3)科学計算の可視化処理では、大量の数値データを取り扱うため、処理の効率化、特に処理の並列化が重要である。データフローで表現される処理の依存関係は、処理を表すモジュール間にデータの授受

関係が存在するかどうかによって判断することができる。従って、依存関係の無い処理を認識し、並列に処理することが簡単に行なえるため、並列処理の実現が容易である。

このように、データフロー概念に基づくビジュアルプログラミングパラダイムは、解析者の望むディスプレイイメージの供給という観点から捉えれば非常に有効なアプローチである。しかし、このアプローチには共同解析という概念は含まれていない。また、そのまま共同解析の概念を含むように拡張することもできない。我々は、通常の可視化解析、共同可視化解析を統一的に取り扱うことのできるアプローチとして、ビュー概念に基づく可視化解析のモデルを提案する。

### 3. 共同可視化解析の支援

この章では、共同可視化解析を支援するために必要な機能について考察する。

メンタルイメージは、現象をある側面に関して可視化したディスプレイイメージを解釈することによって形成されるものである。同じディスプレイイメージを見ても、その解釈は個人の持つ知識によって左右されるため、ディスプレイイメージの共有だけでは、個人の持つメンタルイメージを正確に伝達することはできない。そのため、一堂に会して共同解析を行なう場合には、全員が同一のディスプレイイメージを観て、言葉によってそのディスプレイイメージをどのように解釈したかを説明したりする。また、別の視点から見せることによって（例えばディスプレイイメージを拡大したり、別の角度から見たりすることによって）特徴を顕在化したり、そのディスプレイイメージが重要であると認識するに至った経過を説明するために、それまでに生成した一連のディスプレイイメージを再現したりする。それにより明確なメンタルイメージの伝達が図られる。

従って、分散環境上で同様な作業を可能とするためには以下の3要件が必要である。

[要件1]解析者の生成したディスプレイイメージの共有

[要件2]解釈情報の転送

[要件3]ディスプレイイメージに対して解析者が行なった操作の共有

ここでいう操作とは、可視化情報（データ、可視

化手法、解析者にとって興味のある時間、空間の範囲）に対する以下の4種類のインタラクションを指す。

(操作1)解析対象とする原データの変更

(操作2)可視化対象とする物理量の変更

(操作3)物理量に対して適用する可視化手法の変更

(操作4)解析したい時空間の描画範囲の変更

ここで、分野の異なる解析者が共同解析を行なう場合、各解析者は各々の分野に応じたディスプレイイメージを生成するが、それらの間で上記4種類の情報のうち幾つかを共有する必要があることが多い。例えば、実験データとシミュレーション結果を比較する場合、必ずしも同じ可視化手法を採用する必要はなく、各々の観やすいディスプレイイメージを生成すれば良い。しかし、例えば同じ物理量を同じ時空間の視点から見ることが生じる場合がある。これらの情報が変更される場合、その変更は他のディスプレイイメージにも反映される必要がある。従って、可視化情報のうち何を共有するかは、目的に応じて解析者が自由に選択できなければならない。

これまでの考察は、解析者全員が分散環境上で同時に解析を行なうことを仮定していた（以後、このような解析形態を同期的共同解析と呼ぶ）。しかし、共同可視化解析は、必ずしも同時に解析を行なっていなければならない必然性はない。分散環境を利用しない場合でも、解析結果を相手に送付しそれに対する返答を受けることを繰り返すことにより共同解析を行なう場合がある（以後、このような解析形態を非同期的共同解析と呼ぶ）。従って、分散環境上でも非同期的共同解析を支援する必要がある。

同期的共同解析作業では、共同解析者がコミュニケーションを通してディスプレイイメージの解釈を説明したり、別の視点から現象を見せたりすることによるメンタルイメージ共有の支援が考えられた。しかし、非同期的共同解析作業ではこのようなインタラクティブな作業を行なうことができない。

そのため、非同期的共同解析作業では送り手が重要であると認識したディスプレイイメージ及びそれに関する解釈を送るだけでなく、それを重要であると認識するに至った経過を表すディスプレイイメージ及びそれらに対して加えられた操作の履歴を送付し、解析者の経験を受け手に追体験させる必要がある。

る。

更に、受け手は送り手のメンタルイメージの正当性を検証するために、現象に対して送り手とは別の側面からの解析を必要とすることもある。すなわち、送付されたディスプレイイメージに対し受け手が視点を変えたり可視化手法を変えたりして独自解析を行なえる機能が必要である。

従って、非同期的な共同解析においては、以下の2要件が必要となる。

[要件4]送り手の一連のディスプレイイメージ及びそれに加えられた操作履歴の送付

[要件5]送付されたディスプレイイメージを基にした受け手による独自解析の継続

#### 4. ビュー概念の提案

上記で考察した共同可視化解析の支援に必要な要件を満足するために、我々は共同解析者が交換、共有する情報単位としてビューという概念を提案する。ビューは現象に対する一つの見方を抽象化したものである。ビューは以下の8点の可視化情報を適宜組み合わせることによって構成される。

- (1)解析対象とする原データに関する情報
- (2)可視化対象とする物理量に関する情報
- (3)物理量に対して適用される可視化手法に関する情報
- (4)解析したい時空間の描画範囲に関する情報
- (5)ディスプレイイメージに対する解釈情報
- (6)解析者の要求に従って生成されるディスプレイイメージに関する情報
- (7)情報を共有すべきビューに関する情報
- (8)ディスプレイイメージに対する操作に関する情報

また、ビューは以下の基本機能を持つ。

- (a)上記(1)-(4)の情報を基に解析者の要求に従ってディスプレイイメージを生成する機能
- (b)(1)の機能を動的に追加、変更、削除する機能
- (c)上記8種類の情報を追加、変更する機能
- (d)ビュー間で保持する情報を送付、共有する機能
- (e)ビューを生成、削除する機能

ビューを利用することにより、3章で考察した5つの要件は以下のように支援される。

要件1,2は自分の持つビューの複製を生成し、それ

を共同研究者に送付することにより実現される。

要件3は複製に対して、原データ、物理量、可視化手法、描画範囲に関する情報を共有させた後に送付することにより実現される。また、異なるディスプレイイメージに対する操作の共有はビュー間の共有情報を適宜非共有とすることにより実現される。

要件4は、必要な操作の履歴を履歴情報としてビューに記憶させて、送り先に送付することにより実現される。

要件5は受け手がビューに対し、保持している情報の変更要求を出すことによって実現される。

共同解析者間の情報の交換、共有はビューの送付、ビュー間での情報の共有という形で行なわれる。

#### 5. VIPSSにおけるビュー概念の実現

我々は、ビュー概念の実現可能性を検証するための実験として、現在構築している分散可視化システムVIPSS[4]にビュー概念の実装を試みた。以下にその結果を概説する。

##### 5.1 VIPSSシステム構成

分散可視化システムVIPSSは図3のシステム構成をとり、(1)原データを一括管理するデータ管理部、(2)原データから可視化データを生成するデータ変換部、(3)ビューを生成することによって可視化データからディスプレイイメージを生成するUI部、(4)以下に説明するUIパーツを管理するUIパーツ管理部、からなる。

UIパーツとは、ビューの持つ機能のうち(a)を実現したものであり、UI部に存在するビューはUIパーツを動的に組み込み、評価することによりディスプレイイメージの生成や自分の持つ情報の変更を行なう。ディスプレイイメージの生成や、ビューの持つ

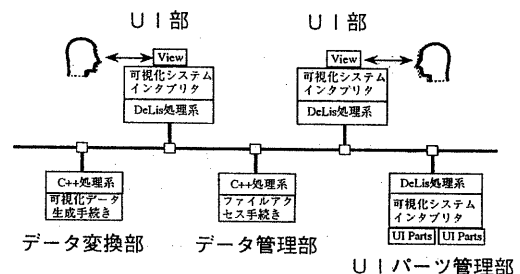


図3. VIPSSシステム構成

情報の変更は解析者の要求に従って行なわれるため、UIパーツはそれらの要求を促すためにボタンなどGUIにおける画面上の外観情報も持っている。ビューはUIパーツを動的に組み合わせることによりGUIを作成する。UIパーツ管理部はこのUIパーツを管理し、各解析者のUI部に対してUIパーツを供給する[5]。利用者の要求に応じて動的にUIパーツを組み込む機構を持つことにより、VIPSSは可視化解析作業における柔軟なディスプレイイメージの供給を図っている。

データ管理部、データ変換部、UIパーツ管理部はネットワーク上で共有され、共同解析者は各々のUI部を通してこれらサブシステムにアクセスする。現在、サブシステムのうちデータ管理部、データ変換部はC++、UI部、UIパーツ管理部は分散環境記述言語DeLis[6]を用いて記述されている。

## 5.2 実現例

上記の構成を持つVIPSS上でビューを試作した。ビューはUI部上で図4のような外観を持ち、これらはUIパーツを組み合わせることによって実現される。このビューを用いて、以下の機能を試作した。

### (1)ビュー間の情報共有機能の試作

ネットワークを介して1つのビューに対する操作を共同解析者の持つビューに反映する機能を試作した。ビューに対して行なわれる操作はUIパーツを動的に組み込むことによりボタンとして表示される(図4)。解析者はこのボタン(例えば、図4におけるZoom、Contourボタン)を押すことによりビューの持つ(1)-(4)の情報を変更する。その変更がビュー間で共有されて、共同解析者間の操作の共有が実現される。また、UIパーツには4章で述べた(1)-(4)の情報の共有/非共有を設定するボタン(図4における共有1-4ボタン)もあり、解析者はそれらを押すことによりビュー間の情報の共有形態を自由に設定することができる。それにより、異なるディスプレイイメージ

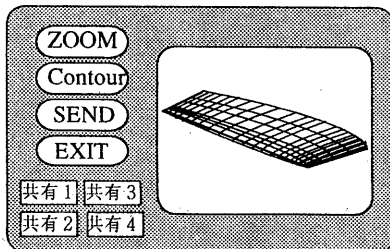


図4. ビューの実現例

間の操作の共有を実現することができる。

### (2)非同期共同解析の実現

共同解析者の生成したビューを電子メールで送信してもらい、それを再解析できる機能を試作した。送り手側のビューは、解析者の送信要求により現在自分の持つ情報をファイルに書き出し、そのファイルを電子メールで送信先に送る。受け手はそのファイルを読み込むことにより、受け手側のビューが必要なUIパーツをUIパーツ管理部に要求し、それを評価してディスプレイイメージを再現する。また、ビューの動的なUIパーツ組み込み機能により受け手の再解析要求に応えることもできる。

## 6. まとめ

本稿では、共同可視化解析作業を分析し、共同解析者間で交換、共有される情報の単位としてビューという概念を提案した。また、分散可視化システムVIPSS上でビューの試作を行なった。

現在VIPSSでは解析者とシステムの行なうインタラクションを共同解析者間で共有させる機能を実現している状況で、解析者間でのコミュニケーションを支援する機能が含まれていない。この機能を検討、実現することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1]C.Upson, T.Faulhaber,Jr., D.kamins, D.Laidlaw, D.Schlegel, J.Vroom, R.Gurwitz, A.van Dam: The Application Visualization System:A Computational Environment for Scientific Visualization,IEEE CG&A, Vol.9, No.4, July 1989.
- [2]D.Dyer:A Dataflow Toolkit for Visualization, IEEE CG&A, Vol.10, No.4, July, 1990
- [3]Nielsen:Visualization in Scientific and Engineering Computation, IEEE Computer, Vol.24, No.9, pp.58-66(1991)
- [4]橋, 武宮, 瀬川, 奥村, 布川, 宮崎: 分散環境に対応した科学計算可視化システム, 第6回計算力学講演会, pp.513-514, 1993
- [5]瀬川, 布川, 宮崎, 野口: 分散ユーザインタフェースのためのUI部品の分散配置, 第46回情報処理学会全国大会講演論文集(1993)
- [6]三石, 布川, 宮崎, 野口: 分散環境のための言語系, 情処研報Vol.93, No.11, PRG-10, pp.57-64(1993)