

バーチャルリアリティ技術を用いたデータの可視化・解析

文部科学省 核融合科学研究所
理論・シミュレーション研究センター
陰山 聡、 田村 祐一、 佐藤 哲也

1. 核融合研におけるVR導入の経緯

核融合科学研究所、理論・シミュレーション研究センター¹は、核融合プラズマやスペースプラズマの物理を中心とし、流体力学や高分子動力学なども含めた広い分野にわたる様々な現象を研究している。我々の主な研究手段はスーパーコンピュータを使った大規模な計算機シミュレーションである。シミュレーション科学における可視化の重要性については今更強調するまでもない。我々は早い時期からグラフィックワークステーションと(AVS等の)ビジュアライゼーションソフトを使った可視化環境の整備に力を注いできた。

近年、スーパーコンピュータの進歩に伴って、計算機シミュレーションで扱う物理現象の複雑さが高まり、グラフィックワークステーションを使ったこれまでの可視化手法では結果を解析することが次第に難しくなっている。今日では3次元(あるいはそれ以上の多次元)シミュレーションが当たり前である。3次元データをワークステーション(あるいはパソコン)のモニター画面を通じて2次元的に解析することのもどかしさは多くの研究者が経験していることであろう。

3次元データは3次元で解析すべきである。我々は、可視化装置としてのグラフィックワークステーションに限界を感じ、可視化に関する技術革新の可能性を探り始めた。そして、ちょうどそのころバーチャルリアリティシステムCAVEが発表された(1993年)。我々はその噂を耳にしてすぐにCAVEを開発したイリノイ大学の研究室を訪れ、そのリアリティの高さに驚いた。そして、これこそが待ち望んでいた新時代の可視化装置であると確信し、CAVE装置の導入準備を始めた。

2. 核融合研のVRシステム "CompleXcope"

我々は1997年9月にCAVE方式のVR装置を導入し、これをCompleXcopeと名付けた。CAVEは米国イリノイ大学シカゴ校、Electronic Visualization Laboratoryで開発

¹ <http://www.tcsc.nifs.ac.jp>

された、いわゆる没入ディスプレイ方式のVRシステムのパイオニアである。



我々の CompleXcope は1辺 10 フィート（約3メートル）の立方体の部屋である（左図）。部屋の3つの壁（正面、右面、左面）と床の合計4つ面が全てスクリーンになっており、ここにステレオ・カラー画像が投影される。利用者は液晶シャッター眼鏡をかけてこの部屋の中に入り、立体画像を見る。二つのスクリーンの

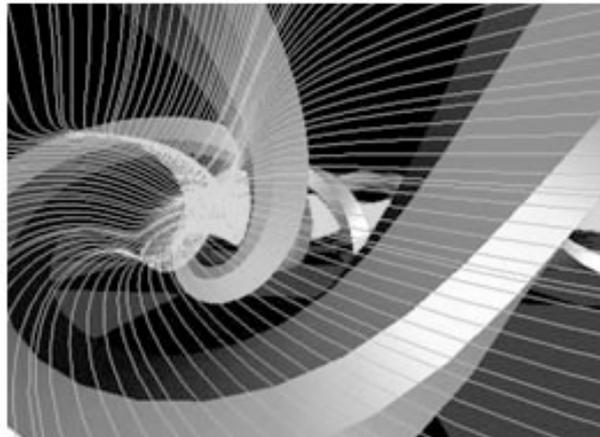
境界でも映像はなめらかにつながるように投影されている。液晶シャッター眼鏡には位置・方向センサが付いており、トラッキングシステムが眼鏡をかけている人の頭の位置、向き、及び傾きを常に検知している。この視点情報をもとに、4つのスクリーン面上にの映像がリアルタイムで更新される。部屋の中を歩いたりしゃがんだりしても、常にそこから見えるべき映像が投影されるので、全てが自然に（リアルに）見える。

上述のように我々は CompleXcope 装置を1997年の9月に導入した。国内のCAVEとしては非常に早い時期の導入であった²。メンバーのほとんどがプラズマ物理の研究者であり、VRに関しては全くの素人集団である我々が、周囲に専門家もいない環境の中で（苦労を覚悟して）このような大規模なVR装置の導入に踏み切った理由は、「3次元データを3次元のまま、立体的に解析したい。」という強い欲求があったからである。

3. シミュレーション研究の道具としてのVR

CompleXcope の導入が本格的に決まってから我々はまずコンピュータグラフィックスの基礎から勉強を始めなければならなかった。そして次に（CAVE システムでVR空間を構成するのに必要不可欠な基礎ライブラリである）CAVE Lib の使い方を習得した。その甲斐あって CompleXcope の設置後、比較的早くバーチャルLHD(次ページの図)という研究上実際的価値のあるアプリケーションを書き上げて動かすことができた[1]。LHDというのは核融合研にある核融合プラズマの実験装置である。

² 「純正CAVE」としては国内で2番目だったらしい。



我々はその後も *CompleXscope* を使ってシミュレーションデータを解析するプログラムを開発した[2]。その中には流線がカオスの性質を持つ流れ場を可視化するプログラムや、球状トカマクの MHD シミュレーションデータを解析するプログラムなどがある。また我々は (*CompleXscope* を含めた) CAVE システム用の VR プログラムを作成する研究者のためのプログラミングマニュアルも書いた[3]。

我々のような素人でも、少し勉強すれば最先端の VR 装置を使いこなすことが可能であることは分かったが、一方、逆に言えばそれは VR でデータを解析したいシミュレーション研究者は皆、ある程度自分の研究時間を割いて VR プログラムの勉強をしなければならないということである。VR 用のプログラムコードは我々が普段扱い慣れている数値シミュレーションコードとは性格がかなり違うので、そこで敷居が高いと感じる研究者は多いようである。

4. ベクトル場解析用汎用プログラムの開発

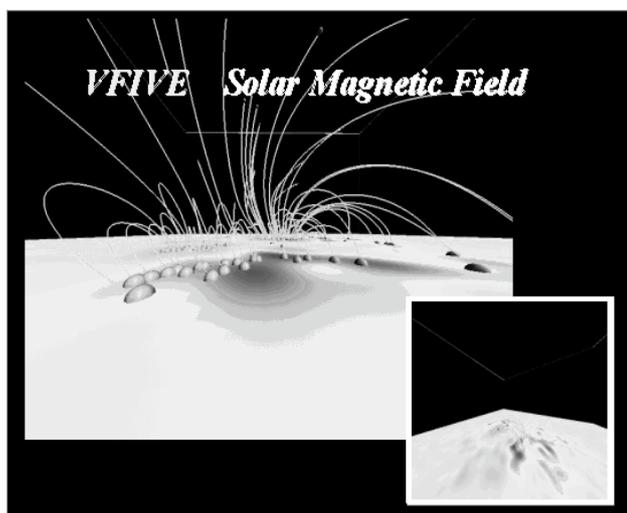
そこで我々はシミュレーション研究者が自分でプログラム作りをすることなく、コマンド一つですぐに自分のデータを *CompleXscope* (あるいは一般の CAVE システム) で解析する事の出来るような汎用プログラムを開発した[4]。このプログラムは 3 次元の場の中に自分が入り込んでそのデータを立体的、かつ対話的に解析することを可能にする。このプログラムはベクトル場を解析する機能に特に重点を置いて開発した。解析するデータが単なるスカラー場であれば AVS 等の可視化ソフトを使えばワークステーション上で十分解析が出来る。AVS では等値面や断面図、ボリュームレンダリングなどが簡単に描けるし、断面の位置などのパラメータもマウスを使って直感的に調整できる。しかしながら解析するデータがベクトル場の場合には、たとえ最高速のグラフィックワークステーション上で AVS を使っても、そのベクトル場の 3 次元構造を

完全に把握することはなかなか容易ではない。この点には流体やプラズマの複雑な3次元ダイナミクス現象の計算機シミュレーションを行っている多くの方々が同意されるであろう。シミュレーション結果を解析し、



計算機の中でどのような物理的現象・過程が起きているのかを理解するためには、ベクトル場の全体的な空間分布を頭の中でしっかりと把握することが必要である。例えば磁気流体力学（MHD）モデルを使ってプラズマのダイナミクスをシミュレートする場合には、磁場と速度場という二つのベクトル場、そして圧力と密度という二つのスカラー場の分布を全て、相互関係を含めて明確に理解しなければならない³。CompleXscope が提供する3次元仮想現実空間はこのような解析のためには理想的な環境である。

我々の開発したベクトル場解析用汎用プログラムは VFIVE という名前である⁴。VFIVE には解析する場や可視化機能を仮想レーザービームを使って直感的に選択するメニュー画面（上図）や、手の先から出発した（流線や磁力線などの）力線を追跡さ



せる機能、手の先からテスト粒子を次々に放出させる機能など、VRの特性を生かして複雑なベクトル場の構造を対話的に解析する機能がいくつか用意されている。VFIVE プログラムは乱流シミュレーションの解析[5]や、太陽コロナ磁場の3次元構造の解析（左の図）など実際の研究に活用しており、さらに機能を充実させるために現在も開発を続けている。

5. 3次元音響システムの組み込み

³ 例えば、「なるほど。この流れがこの磁力線をここでこういうふうに曲げるからあなるんだな。」といった理解が出来ないと研究が進まない。

⁴ <http://www.tsc.nifs.ac.jp/kage/vfive/manual.html>

我々は最近、視覚だけでなく聴覚も使ってデータを解析するために、3次元音響システムを CompleXcope に組み込んだ[6]。仮想空間に自分の望む音環境を作り出すのは比較的簡単である。MIDI フォーマットの音情報（音の大きさや周波数等）と仮想空間中の音源の位置および速度を与えるだけでよい。CompleXcope では観測者の頭（つまり耳）の位置と向きが常に測られているので、音源の相対位置・速度が自動的に計算され、観測者の耳には非常にリアルな3次元音響が聞こえてくる。

この3次元音響システムを使った例の一つとして、バーチャルLHDプログラムでプラズマイオンの運動を「可聴化」する機能を組み込んだアプリケーションがある。補足粒子と呼ばれる複雑な振動運動をするドリフト粒子の振動周期が少しずつ変化していく様子を（目で見ると同時に）耳で聞き取ることが出来る⁵。人間の耳は周波数やピッチのほんのわずかな変動にも大変敏感であることを我々はこのプログラムを使ってみて実感した。科学研究におけるデータの「可聴化」は将来活発に研究されるべき分野だと考える。

6. 最後に

本稿では、VRの科学への応用を目指した我々の研究開発活動について述べた。最後に、VRに関連したその他の我々の取り組みを簡単に紹介する。

現在、我々は通信・放送機構(TAO)の研究開発用ギガビットネットワークを使って核融合研の CAVE (CompleXcope)と NTT サイバースペース研究所の CAVE、そして金沢大学の VR 装置（一面スクリーンの CAVE システム）を高速ネットワークで接続し、仮想現実空間を共有するプロジェクトを進めている。

また、これまで我々が特に力を注いできたプラズマシミュレーションデータのVR可視化で培った経験を生かし、さらに視野を広げて天文学や生物学、脳科学等、様々な分野の科学研究においてもVRを積極的に利用しようと考えている。このような”科学研究におけるVRビジュアライゼーション”という新しい流れをすことを目指し、既に遺伝研究所などとの共同研究を開始している。

今後、様々な分野の研究においてVRの利用が広まっていくことは間違いないであろう。従って、現在（ワークステーションやパソコン用として）広く使われているビジュアライゼーションツールを、（インターフェースはそのままにして）VR装置で使えるようにしたソフトに対する需要が高まることが予想される。我々は AVS を CAVE 型 VR装置で利用できるようにしたソフトの開発を株式会社 KGT に依頼し、その開発に

⁵ 粒子のドップラー効果が自動的に計算されるのでに振動運動が聞こえる。

も協力した。これは "AVS/Viz for CAVE" というソフトとして既に市販されている。

VRに関する我々の研究の一部は通信・放送機構（TAO）及び総合研究大学院大学共同研究の補助を受けて行われた。ベクトル場解析用汎用VRプログラムの開発には科研費（奨励A）の補助を受けた。

参考文献

- [1] A. Kageyama, T. Hayashi, R. Horiuchi, K. Watanabe, and T. Sato,
"Data Visualization by a Virtual Reality System", Proceedings of 16th International
Conference on the Numerical Simulation of Plasmas, February 10-12, 1998, Santa
Barbara, CA, USA pp.138-142
- [2] A. Kageyama, Y. Tamura, and T. Sato,
"Scientific Visualization in Physics Research by CompleXcope CAVE System",
日本バーチャルリアリティ学会論文誌,
Vol.4, No.4, pp.717-722, 1999
- [3] 陰山 聡, 佐藤 哲也,
「VR システム CompleXcope プログラミングガイド (Ver.1)」
Research Report NIFS-MEMO No.28, pp.1-115, 1998,
- [4] A. Kageyama, Y. Tamura, and T. Sato,
"Visualization of Vector Field by Virtual Reality",
Progress of Theoretical Physics Supplement, No.138, pp.665-673, 2000
- [5] 木田重雄、陰山 聡
「乱流渦構造の解剖」、乱流現象とその周辺、
九州大学応用力学研究所研究集会報告 11ME-S3 (2000 年 5 月) pp.12-16
- [6] 田村祐一、佐藤哲也、陰山聡、藤原進、中村浩章、
「数値シミュレーションデータ表現のための音情報機能を付加した
バーチャルリアリティシステムの開発」、
日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp.943-948, 2000