宇宙シミュレーション・ネットラボラトリーシステムの開発

千葉大学理学部　　○松元亮治

Developments of Network Laboratory System for Astro/Space Simulations

Ryoji Matsumoto, Department of Physics, Faculty of Science, Chiba University

Abstract

We have developed a virtual laboratory system for astro/space simulations by which users can carry out numerical simulations and visualize the simulation results through computer network by using the Web browser. Simulation code libraries and simulation results database are integrated to the virtual laboratory system. This virtual laboratory system turned out to be useful not only for research but for education and popularization of computational astrophysics and space simulations.

１．はじめに

地上での直接実験が困難な宇宙現象の研究では現象を記述する方程式を数値的に解くことによって計算機の中に現象を再現する計算科学的手法が特に有効である。天体・スペースプラズマ分野では、これまで様々なシミュレーションコードが開発されてきたが、これらのコードは研究室内等の小グループ内だけで閉じて使用されることが多く、研究室の壁を越えた共有資産とはなっていなかった。本プロジェクトでは、宇宙シミュレーションのコードライブラリを整備し、ネットワーク経由でシミュレーションの実施から結果の解析・可視化まで可能なバーチャルラボラトリーを構築することを目的として研究開発を進めてきた（図１）。また、シミュレーション結果の画像や動画をデータベース化して公開し、Ｗｅｂブラウザを利用して一般ユーザーが閲覧できるようにした。このようにして構築されたバーチャルラボラトリーシステムはシミュレーション入門教材としても有用であり、大学院生・研究者を対象としたシミュレーションサマースクール等を通して、宇宙シミュレーションの裾野を広げることに寄与しつつある。

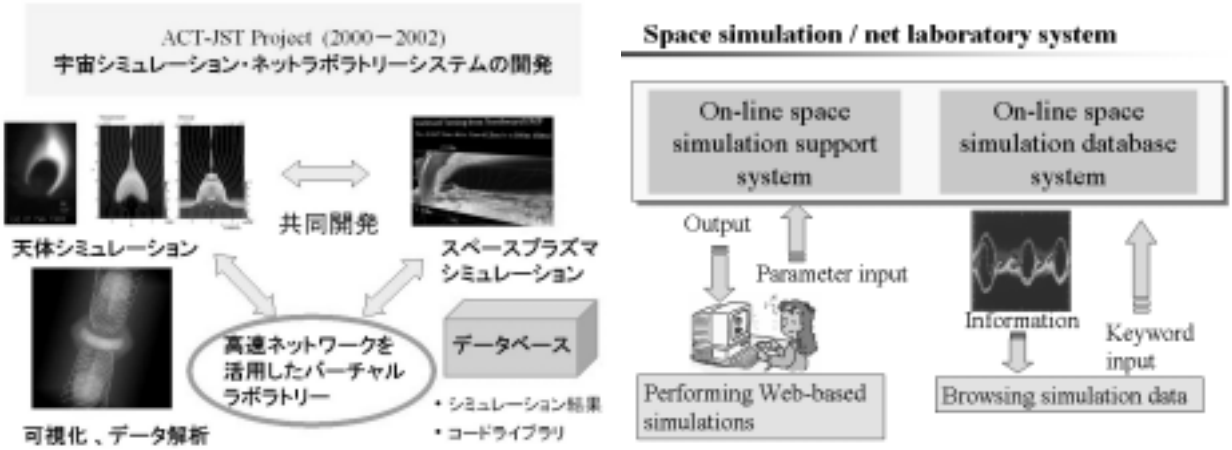

図１：宇宙シミュレーション・ネットラボラトリーシステムの概念図

２．開発内容

２．１　天体シミュレーション実施支援システム

天文・天体物理分野の最先端の研究に使用できるとともに、シミュレーション初心者にとっても学習しやすく、使用しやすい磁気流体シミュレーションの統合ソフトウェア環境 CANS (Coordinated Astronomical Numerical Softwares)を開発した。CANS は、シミュレーションコードと宇宙シミュレーションの典型的問題についてのシミュレーションモジュール（基本課題モジュール)、シミュレーション結果の解析ツールから構成される。コードはモジュール化され、磁気流体コードのプラットフォームに各種シミュレーションエンジン（Lax-Wendroff 法、Roe 法、CIP-MOCCT 法など)、物理モデル（電気抵抗、熱伝導、自己重力、輻射冷却など)、初期モデルなどをプラグインできる形になっている（図２)。シミュレーション結果の入出力形式は netCDF で統一した。MPI を用いて並列化した CANS/MPI も開発し、並列計算機を用いた大規模数値シミュレーションに適用できるようにした。

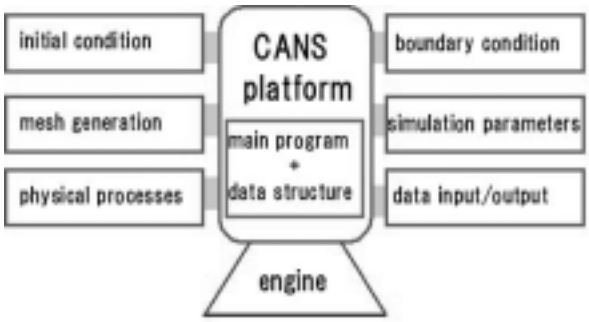

図２：天体磁気流体統合シミュレーションソフトウェア CANS の基本デザイン

CANS の特徴とオリジナリティは基本課題モジュール群にある。ユーザーは用意された多数の基本課題モジュールの中から自分が解こうとしている問題に最も近いものを選択し、使用するモジュールを記述するメインプログラム、境界条件、初期条件を書き換えるだけで新たなシミュレーションを実行することができる。その有用性は 2002 年 9 月に開催したシミュレーションサマースクールの教材として使用することによって確認された。シミュレーション初心者であっても２～３日の間に最前線のシミュレーションを実施し、結果を得ることができた。図３（カラーページ）に CANS 基本課題モジュールによるシミュレーション結果の例を示す。

CANS はソフトウェア全体をネットワーク経由でダウンロード可能とした。FORTRAN コンパイラと netCDF ライブラリがあればユーザーの計算機にただちにインストールすることができる。他方、ネットワーク経由でシミュレーションを実施し、結果を可視化することも可能にした。そのため、既製ソフトウェア MAST と AVS を用いたユーザインターフェースを作成し、Web ブラウザからシミュレーションパラメータを入力し、計算サーバでシミュレーションを実行、結果を可視化させるシステム NetCANS を開発した(図４)。ユーザー認証も可能である。このインターフェイスを動作させることにより、シミュレー

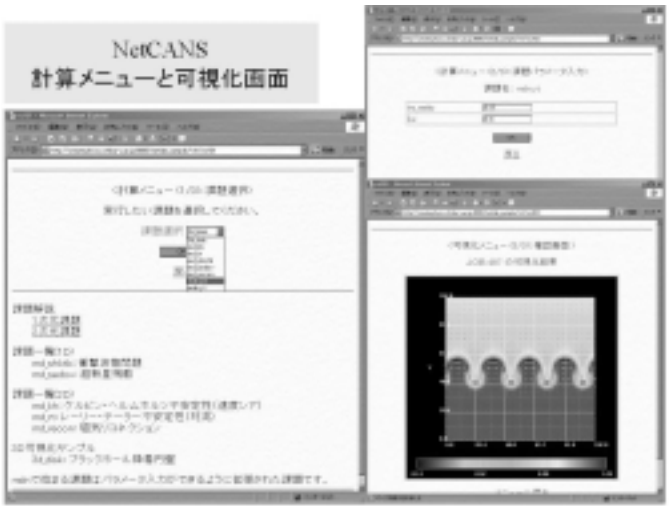

図４：NetCANS 計算メニューと可視化画面

ション実施用のポータルサイトを運用することができる。

２．２　スペースシミュレーション実施支援システム

これまで個別に開発・利用されてきた電磁流体シミュレーションやプラズマ粒子シミュレーションコードをネットワーク上で統一的に扱えるソフトウェアシステムを構築し、Web 経由で基本的なプラズマシミュレーションを実施できる環境を開発した。スペースシミュレーションのホームページからはシミュレーションサイトと、スペースシミュレーションに関連したデータベースサイトにアクセスできる。シミュレーションサイトからは粒子シミュレーション、ハイブリッドシミュレーション、MHD シミュレーション、波動解析ユーティリティの各サイトにアクセスできる。各サイトにおいて、それぞれのシミュレーションに関する情報、デモシミュレーションを閲覧、利用できるようになっている。

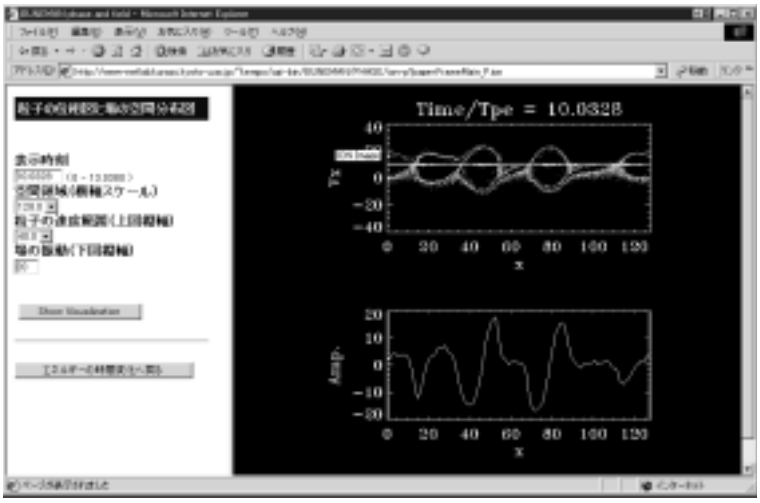

図 6：粒子シミュレーションのアニメーションサイトの例

粒子シミュレーションサイトを例にとると、サイト下にはシミュレーションの説明および基本課題サイトが用意されている（カラーページ図５参照）。 ユーザーは CGI を用いてシミュレーションに必要な初期値パラメータを選択し、実行ボタンをクリックすることにより Web 経由でシミュレーションを行うことができる。また、計算サーバで複数のシミュレーションをスムーズに処理できるような工夫も行った。可視化ソフトウェア IDL をバックグランドで走らせることにより、得られたシミュレーション結果から画像ファイルを作成し、これを Web 上で閲覧できるようにした。また、JavaScript を用いることにより、アニメーションも同様に作成できるようにした（図６）。

２．３　シミュレーションデータベース

天体磁気流体シミュレーション用ソフトウェア CANS の基本課題モジュールに含まれている天体シミュレーションの典型的な問題について解説する Web ページ（基本課題 Web ページ）を作成し、一般ユーザーからアクセス可能にした。この Web ページからはシミュレーション結果のムービーページにアクセスできるようになっている。また、シミュレーション結果のデータベースにアクセスすることができ、ネットワークを通して結果を可視化したり、解析したりすることも可能になっている。スペースシミュレーションに関連したデータベースサイトでは、太陽－地球宇宙環境における各領域をマップ内でクリックできるようにしており、例えば、地球磁気圏前面で形成されるバウショックをクリックするとその領域説明および関連する現象の簡単な説明を閲覧することができる。また、重要な基本現象についてはシミュレーションサイトともリンクしており、Web 上でデモシミュレーションを行うことができる。これらに加え、宇宙プラズマ現象に関連する学会、研究会の講演発表資料（電子ファイル）を Web 上で登録・閲覧できるシステム(Virtual Exhibition of Space Science (VESS))を開発し、リンクした。

３．シミュレーションサマースクール

平成 13 年 9 月には、千葉大学において CANS のプロトタイプを用いた宇宙流体・磁気流体コースのサマースクールを開催し、約 40 名の大学院生、研究者が参加した。平成 14 年 9 月 9 日～13 日には名古屋大学において流体・磁気流体コースと粒子・ハイブリッドコースの 2 コースからなる「天体とスペースプラズマのシミュレーションサマースクール」を開催し、大学院生を中心として 100 名以上の参加者があった。コース別にシミュレーション手法について概説するとともに、それに関連する基本課題実習、応用事例紹介を行った。両コースとも最終日には応用課題の発表会を実施した。これらのサマースクールを通して、開発したバーチャルラボラトリーシステムの幅広い需要と教材としての有用性を確認することができた。

４．ネットワークの活用について

Web ブラウザを用いることにより、ネットワーク経由でシミュレーションの実施から結果の解析まで行うことができる宇宙シミュレーションのバーチャルラボラトリーを構築した。また、シミュレーションポータルサイトの運用技術開発を行った。本プロジェクト全般にわたり、ネットワークが活用され、また、研究開発成果はネットワークを通して公開されている。

５．まとめ

天体とスペースプラズマのシミュレーションコードライブラリを整備するとともに、Web ベースでのシミュレーション実施支援システムとシミュレーション結果データベースを構築した。
本システムは天体とスペースプラズマの理論・シミュレーション研究にとって有用であるだけではなく、シミュレーション入門教育や観測プロポーザル作成に利用することもでき、今後多くのユーザーを獲得できると期待している。

６．研究実施体制

代表研究者：松元亮治（千葉大学）
千葉大学理学部：松元亮治、宮路茂樹、山下和之、福田尚也（JST 研究員）
京都大学大学院理学研究科：柴田一成、嶺重慎、町田忍
国立天文台：富阪幸治、和田桂一、横山央明
京都大学宙空電波科学研究センター：松本紘、大村善治、臼井英之
名古屋大学太陽地球環境研究所：荻野龍樹、上出洋介、品川裕之、関華奈子
東京工業大学大学院理工学研究科：藤本正樹
研究協力者：小出真路（富山大）、野沢恵（茨城大）、中村賢仁（松江高専）、
岡田雅樹（極地研）、村田健史（愛媛大）、田中高史（九州大）、渡辺重十（北海道大）、
羽田亨（九州大）、篠原育（宇宙研）、上田裕子（宇宙開発事業団）

７．参考文献

天体とスペースプラズマのシミュレーションサマースクール講義テキスト
宇宙シミュレーション・ネットラボラトリーシステム開発グループ（2002）

http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp/netlab/

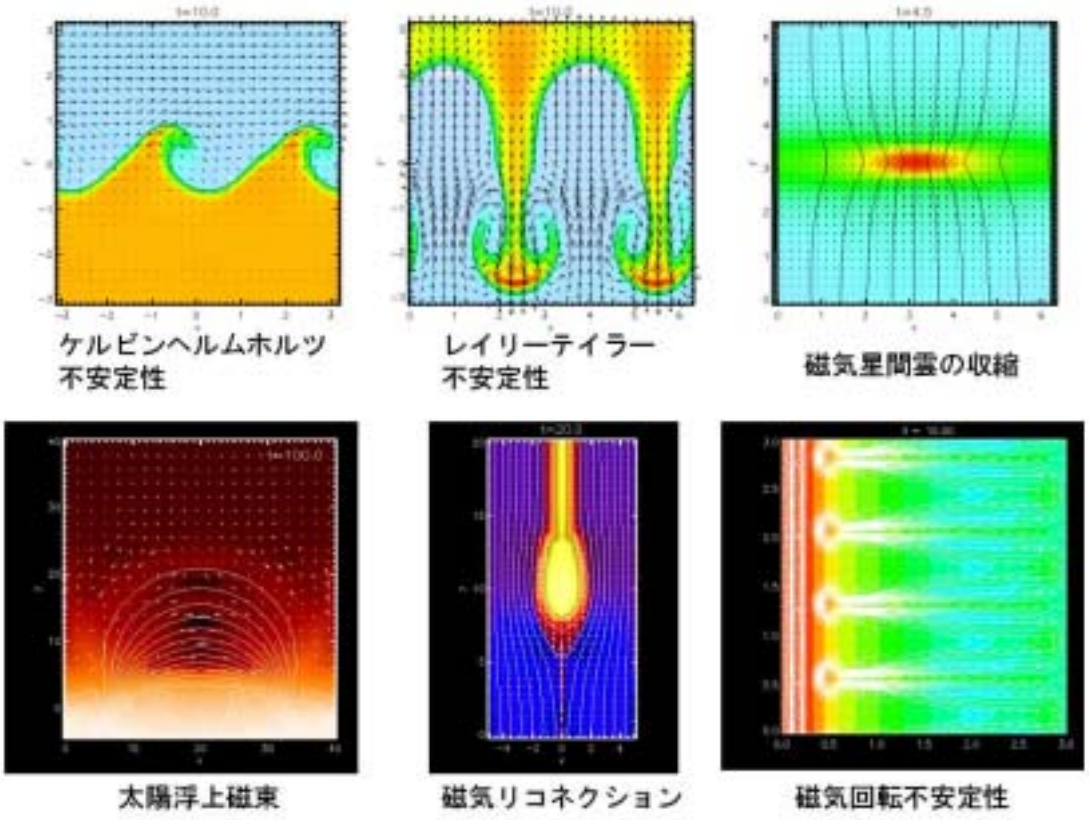

図３：CANS 基本課題シミュレーション結果の例

図５：粒子シミュレーションサイトの概要