D2

4 次元デジタル宇宙データの構築とその応用

自然科学研究機構　国立天文台　○海部　宣男

4-Dimensional Digital Universe and its Application to Research and Education

Norio Kaifu, National Astronomical Observatory

Abstract:
We developed a four-dimensional digital universe theater system for the purpose of visualization of the observed data and theoretical models of astronomical phenomena stereoscopically. The astronomical objects cover all scales of the universe from the solar system to the large scale structure of the universe. We also produced various stereoscopic movies of astrophysical processes based on the results of computer simulations. We aim to distribute all the products from this project to science education facilities and to general public through the internet.

1. はじめに

宇宙の空間スケールや時間スケールは、文字通り手に届かない巨大なものである。この「4次元デジタル宇宙データの構築とその応用」（通称「4次元デジタル宇宙プロジェクト」）は、最新の宇宙研究が明らかにしつつある宇宙の姿を、科学的なデジタル映像の形で文字通り「目のあたり」に提示することを目指している。そのため立体映像投影システムの開発、各種天文学データの4次元(空間3次元+時間1次元)可視化とその提供手段の開発を進め、広く研究・教育・社会のニーズに応えるとともに、科学と社会の交流に新たな可能性を開発する。

本プロジェクトの目的は、2つである。第1は、天文学の最新の成果を、わかりやすく楽しくそして科学的に正しい映像表現で一般の人に伝えるという目的である。国立天文台では、野辺山宇宙電波観測諸やハワイのすばる望遠鏡など、世界一線の大型望遠鏡による大量のデジタル観測データ、スーパーコンピュータによる多様なシシミュレーションデータを生み出しており、国際的な観測データも併用して、美しく迫力ある立体視コンテンツを作成している。第2は、天文学研究者に現実には得難い3次元の視点を提供し、研究に役立ててもらう目的である。最近の大規模3次元シミュレーションでは計算結果を直観的に理解するために自在な3次元的視点が不可欠になりつつあり、大規模・複雑・長期にわたる宇宙物理現象の3次元表現化はますます重要になっている。

以下、本プロジェクトの進行について、現時点での概要を報告する。

2. 研究開発項目の概要と成果

4次元デジタル宇宙プロジェクトの主たる開発項目は、立体映像投影システムの開発、及び、そのシステム上で投影する4次元デジタル宇宙データの構築である。以下、それぞれについて概要と成果を報告する。

2.1. 立体映像投影システムの開発

図1に、本プロジェクトで開発した立体映像投影システム「4次元デジタル宇宙シアター」の概念図を示す。シアターは、135度の角度で接続された1.8m四方の正方形シルバースクリーン3面で構成されており、十分な没入感とともに、広がりのある立体映像を10数名で楽しむことができる。立体視の方式は、円偏光方式を採用した。各スクリーンにそれぞれ2台、合計6台の DLP プロジェクターから、偏光フィルターを通して右目用と左目用の映像が投影される。これを偏光めがねを使用して見ることにより、映像が立体的に浮かび上がる。各プロジェクターに1台のパーソナルコンピュータ(PC)が接続され、同期して映像を送る。スクリーン以外は、すべて民生用の機器を用いている。

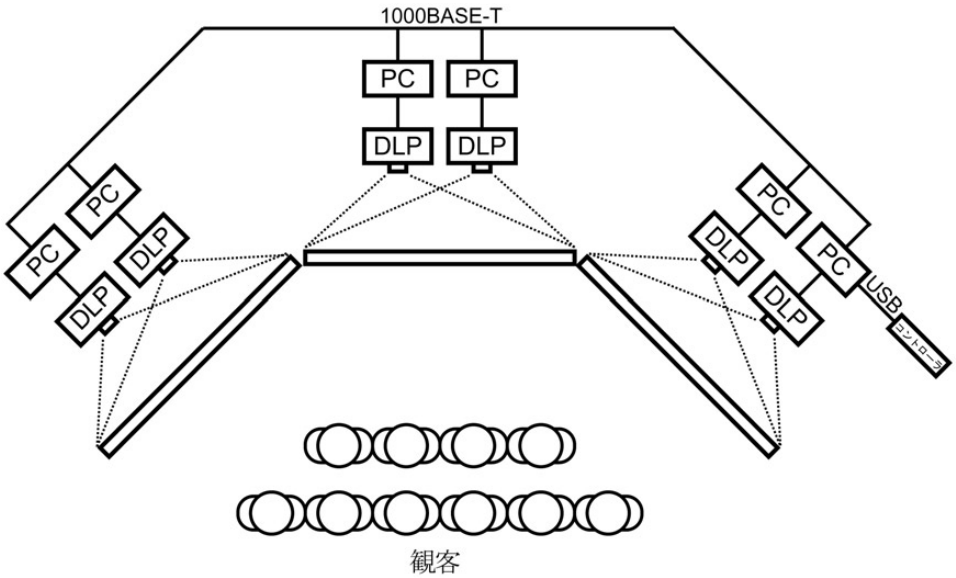

図１： 4次元デジタル宇宙シアターの投影ハードウェア概念図

6台の PC は Gbit イーサネットを介して通信を行い、独自に開発した同期投影ソフトウェアによって、毎秒15-30フレームという高速でスムーズな立体動画が実現できている。PC のうちの1台には、オペレーター・ナレーターによる実時間操作のため、ゲーム用コントロールパッドが USB 接続されている。

シアターのハードウェア部分は2002年中期に完成し、開発・試験公開等に用いながら、偏光フィルターやプロジェクターの投影角度の最適化、PC の性能向上などシステムの改良を進めている。

2.2. 4次元デジタル宇宙データの構築

本プロジェクトで製作した4次元デジタル宇宙データは、 WindowsXP/2000 上に構築されている。シアターのユーザインターフェースおよびムービーの再生部分には Direct X、リアルタイムの3D表示には OpenGL を用いている。ムービーの映像は主に、粒子系に特化した OpenGL を用いた独自開発の可視化ツール、AVS、LightWave3D などを用いている。データの枠組は2003年前期に確立し、それ以降、大学を含む多くの天文学者の協力を得て、観測データ、理論モデル、ムービーを製作し続けている。

4次元デジタル宇宙データは、大別して2種類のデータから構成される。1つは静的な天体データ(観測データと理論モデル)、もう1つは、様々な天体現象のコンピュータシミュレーションを可視化した立体ムービーである(図2を参照)。

宇宙には地球-月系、太陽系から、太陽近傍の恒星、銀河系、銀河群、銀河団、宇宙の大規模構造などのさまざまな階層があり、それぞれに特徴的な構造がある。シアターでは、宇宙の全ての階層の観測データもしくは理論モデルをインタラクティブに操作しながらリアルタイムで表示することができる。すなわち、地球から宇宙の果てまで、スケールを自在に大きくあるいは小さくしながら空間を行き来し、連続的に全宇宙を見ることが可能である。これは天文学の全分野をカバーする国立天文台において可能となったもので、世界初の試みである。

立体ムービーも随時呼び出せるようになっており、例えば、階層構造を見ながらその階層の天体の起源と時間的進化発展を、ムービーで見せることもできる。ムービーの元データはいずれも、国立天文台のスーパーコンピュータおよび専用計算機を用いて行なわれた最新のシミュレーション計算に基づく研究成果である。ムービーは、単体でも上映可能である。

表1に、現在までに製作し、試験的公開にも用いている4次元デジタル宇宙データのリスト（上が各種観測データ・理論モデルに基づく天体、下がシミュレーションムービーのタイトル）を示す。銀河系や球状

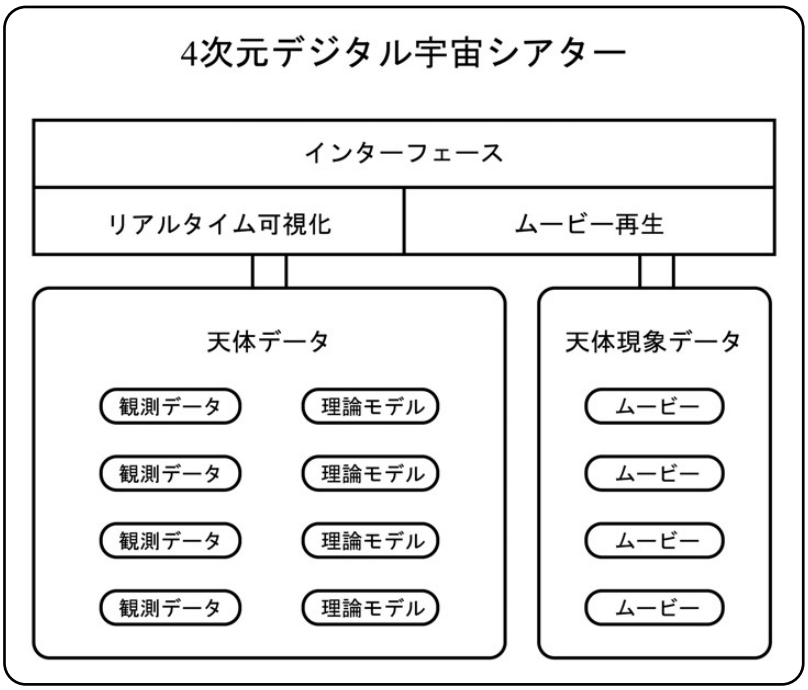

図２：　4次元デジタル宇宙データの概念図

階層	観測データ・理論モデル
	ムービー
太陽系	惑星、衛星、小惑星、カイパーベルト天体
	月の起源、地球型惑星の誕生、火星探検
恒星	太陽近傍恒星
	連星系の形成、若い星から噴出するジェット
銀河系	球状星団モデル、銀河系モデル
	中性水素分布、巨大ブラックホールまわりのガスの運動、渦巻銀河の形成
銀河団	局所銀河群、銀河団、大規模構造
	宇宙の大規模構造の形成

表１：　4次元デジタル宇宙データ表

星団の理論モデルは、最新の研究成果に基づき独自に構築したものである。

これらの観測データ、理論モデル、シミュレーションムービーは素材であって、様々なテーマにそって素材を組合せ、自由に「プログラム」を構成することができる。本プロジェクトではこれまでに、以下の3つのプログラムを製作し、試験的に上映している。

「宇宙の階層構造」
地球-月系からの宇宙の大規模構造まで、宇宙の様々な階層の構造とその起源を紹介するもの。
「天の川の秘密」
天の川とは何かをメインテーマに、連星系から散開星団、球状星団、そして銀河系までの構造とその形成過程を紹介するもの。
「太陽系紀行」
火星や土星など、最近話題の天体を中心に太陽系の構造と起源について紹介するもの。

2.3. 成果物の利用・応用

2003年6月から､国立天文台三鷹キャンパスにおいて一般向けに月1回のシアターの試験公開を開始した。反響は大きく、テレビ、新聞、雑誌などで数多く報道された。小さな開発用システムで、開発を続けながらの試験的公開だが、2004年秋までに2000人以上が見学者が訪れた。同時に公開を開始したプロジェクトの WEB へのアクセスは、1年で50000件を越えている。

本プロジェクトで開発した宇宙データは、簡便な平面立太子や2次元映像としてではあるが、すでに日本科学未来館や国立科学博物館、北の丸科学館などの科学博物館、一部プラネタリウムや教育目的にも試験的に供給されている。NHK スペシャルなど科学番組でも使用された。本プロジェクトで開発した4次元デジタル宇宙シアターそのものの導入を検討中の公共天文台や天文NPO もかなりある。

本プロジェクトでは、終了時点で成果物を WEB を利用して本格的にリリースする予定である。そのため、観測データや理論モデル、ムービーをさらに充実するとともに、シアターのインターフェースを洗練することを予定している。このWEBでのリリースは特別なハードウェアを必要としない2次元1面版を中心とする予定で、普通の1台のPC上でシアターと同様の内容が見られるが、立体視はできない。液晶プロジェクターなどに接続して使うことによって、大画面で迫力ある映像とし、学校の教室や博物館の展示などでも使用可能である。

3. ネットワークの活用について

本プロジェクトでは、4次元デジタル宇宙シアターのネットワークを利用した公開も計画している。まず、開発した天体データやムービーを、インターネットを用いて配布する。すでに一部のムービーはダウンロード可能になっている。最終的には、4次元デジタル宇宙シアター全体をインターネット上で公開する予定である。将来的には、WEB 上でインタラクティブに4次元デジタル宇宙シアターを見ることができる WEB コンテンツも開発中である。

4次元デジタル宇宙シアターは、原理的にネットワークを利用した遠隔投影も可能である。そのための宇宙データ通信の基礎実験を、科学未来館の協力のもとに行なっている。

4. まとめ

本プロジェクトでは、立体可視化実験システムを開発し、そこで上映する4次元デジタル宇宙データを構築してきた。4次元デジタル宇宙データは、観測データ、理論モデル、シミュレーションムービーからなる。すでに、それぞれのデータの可視化の基本方法が確立された。1年前からシアターの実験公開も始めており、大きな反響を得ている。科学館等へのコンテンツ供給も、試験的にではあるが多数行ない、好評を得ている。

4次元デジタル宇宙プロジェクトはこれで終了するものではなく、長期的計画と考えている。今回の計算科学技術活用型特定研究開発推進事業によるプロジェクトはそのスタートとして､大きな成功を収めた。2004年7月から科学技術振興調整費を得て、第2期プロジェクト「4次元デジタル宇宙映像配給システムの構築」が始まっている。そこでは第1期プロジェクトの成果をさらに発展させ、プラネタリウムなどで本格的に応用可能なドーム型シアターでの立体可視化実験システムの開発、移動式立体可視化実験システムの開発、またインターネットによる家庭用シアターの公開、などを目指している。またデジタルデータの構築は、今後も長く継続し発展させたい。

4次元デジタル宇宙プロジェクトの最新情報については、プロジェクトの URL http://th.nao.ac.jp/~4d2u を御覧いただきたい。機会があればぜひ一度、4次元デジタル宇宙をご体感いただきたい。

5. 研究開発実施体制

代表研究者　自然科学研究機構　国立天文台 海部　宣男

研究分担

研究開発項目：4次元デジタル宇宙データの構築とその応用

4次元デジタル宇宙プロジェクトグループ

国立天文台：　海部　宣男、観山　正見、水本　好彦、林　正彦、近田　義広、
小久保　英一郎、林　満、加藤　恒彦、武田　隆顕、縣　秀彦、富阪　幸治

武蔵野美術大学：三浦　均

大阪教育大学：　福江　純

東京大学：　牧野　淳一郎

法政大学：　松本　倫明