



## 1. シリコンとファイバ上の天文学

## 3. 4次元デジタル宇宙プロジェクト

小久保 英一郎  
kokubo@th.nao.ac.jp  
国立天文台

林 満  
hayshimt@cc.nao.ac.jp  
国立天文台

加藤 恒彦  
tkato@th.nao.ac.jp  
国立天文台

武田 隆顕  
takedatk@cc.nao.ac.jp  
国立天文台

海部 宣男  
kaifu@nao.ac.jp  
国立天文台

観山 正見  
miyama@th.nao.ac.jp  
国立天文台

三浦 均  
miura@godard.musabi.ac.jp  
武蔵野美術大学

高幣 俊之  
takahei@atlas.riken.go.jp  
理化学研究所

国立天文台 4次元デジタル宇宙プロジェクトでは、天体や天体現象を空間3次元と時間1次元の4次元で可視化するために、4次元可視化実験システム「4次元デジタル宇宙シアター」を開発している。天体データには観測や理論モデルを用い、天体現象データにはスーパーコンピュータによるシミュレーションデータを使用している。これまでに宇宙のほぼすべての階層の天体データを実装し、さまざまな天体現象のシミュレーションムービーを製作している。すでにシアターの実験公開や、科学館やプラネタリウム等へのデータ供給も多数行っており、大きな反響を得ている。

## ■ 4次元デジタル宇宙をあなたに ■

天文学の対象である宇宙の空間スケールと時間スケールは莫大だ。そして、さまざまな空間スケールで、それぞれの構造があり、その空間スケールに対応した時間スケールで変化している。そのような宇宙の構造と進化を明らかにするために、天文学者は日々研究を続けている。この「4次元デジタル宇宙プロジェクト」もそのような取り組みの1つだ。4次元デジタル宇宙プロジェクトでは、最新の宇宙の姿を描きだし、文字通り「目のあたり」にすることを目指している。「4次元」は宇宙の次元（空間3次元と時間1次元）を意味し、「デジタル」はデジタルデータを使ったコンピュータグラフィクスによる表現を意味している。4次元デジタル宇宙は英語で、4-Dimensional Digital Universeなので、プロジェクト名をアクロニムを使って、4D2Uプロジェクトと呼んでいる（2個のDをD2と表記）。4D2Uにはまた、「4-D to you」（4次元をあなたに）という意味も込められている。

この「あなた」には天文学者と一般の人の2種類ある。つまり、4D2Uプロジェクトの目的は2つある。第1は、天文学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おうということである。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ってきている。これは大規模観測のデータ解析の場合でも同じだ。第2は、天文学の最新の成果を、分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ことだ。国立天文台には世界でも一線級の大望遠鏡による観測データや、スーパーコンピュータによるシミュレーションデータがある。これらを加工して、最新の宇宙像を描くのだ。

これらの目的を達成するために、4D2Uプロジェクトでは4次元可視化実験システム「4次元デジタル宇宙シアター」の開発を行っている。本稿では、4次元デジタル宇宙シアターの概要を紹介させていただく。なお、4D2Uプロジェクトは、2001年12月から3年間、科学技術振興機構計算科学技術活用型特定研究開発推進事業「4次元デジタル宇宙データの構築とその応用」（研究代表者：海部宣男）として行われているものである。

## ■ 4次元デジタル宇宙シアター ■

4D2Uプロジェクトでは、天文学者自ら4次元デジタル宇宙シアターを開発している。そのため、最新の成果を科学的に正しく可視化することが可能になっている。

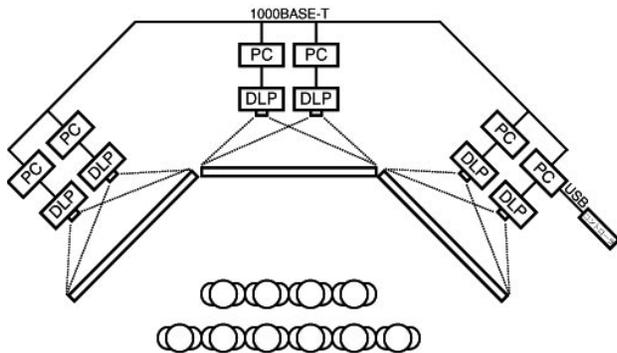


図-1 シアターハードウェアの概念図

また、これは開発物を自由に拡張したり配布していくのにも必要だ。開発コアメンバはシミュレーション天文学の研究者であり、それぞれの得意分野を活かし、観測データ、粒子系データ、流体(連続体)系データの可視化を行っている。

4次元デジタル宇宙シアターは、ハードウェアとしては立体映像投影システム、ソフトウェアとしては4次元デジタル宇宙データとそのビューワ(表示プログラム)から構成されている。

## ★立体映像投影システム

シアターのハードウェアは偏光方式の3面スクリーン立体映像投影システムである。図-1に投影システムの概念図を示す。シアターは、135度の角度で接続された3面の1.8m四方の正方形のシルバースクリーンで構成されている。シルバースクリーンとは偏光を破壊しない特殊な素材を使用したスクリーンである。立体視の方式は円偏光方式を採用した。各スクリーンには2台のDLPプロジェクタから偏光フィルタを通して右目用と左目用の映像が投影される。スペースの問題からリア投影方式を採用した。スクリーンを同じ偏光フィルタを使用した偏光めがねを通して見ることによって、右目と左目にそれぞれの映像が割り当てられ、それが脳で処理されることによって映像が立体的に浮かび上がる。この3面スクリーンシアターでは没入感とともに広がりのある立体映像を楽しむことができる。

各プロジェクタには1台のパーソナルコンピュータ(PC)が接続されていて映像を送っている。スクリーン

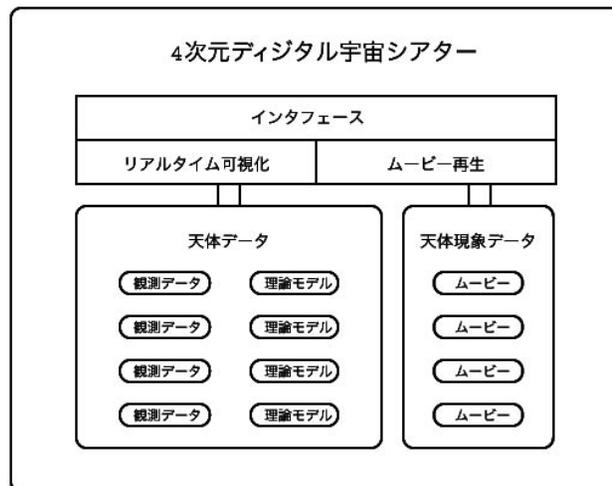


図-2 4次元デジタル宇宙データの概念図

ごとの画像の解像度は、768×768ピクセルだ。PCは自作で、CPUにはIntel社のPentium4 3.2GHz、GPUにはNVIDIA社のGeForce FX 5900を使用している。6台のPCはGbitイーサネットを介してTCP/IPソケット通信を行い、同期をとりながら描画する。これは独自に開発した同期描画ソフトウェアを用いて実現した。これによって毎秒15～30フレームのスムーズな動画が実現できている。また、6台のうちの1台のPCには、ソフトウェア操作用にゲーム用コントロールパッドがUSB接続されている。スクリーン以外はすべて市販の民生機で構成されている。

## ★4次元デジタル宇宙データ

4次元デジタル宇宙データは大きく2種類に分けられる(図-2)。1つは、静的な天体データ(観測データと理論モデル)である。宇宙には地球-月系、太陽系から始まって、太陽近傍の恒星、銀河系、銀河群、銀河団、宇宙の大規模構造とさまざまな階層があり、それぞれに特徴的な構造が存在する。現時点ですでに、宇宙のすべての階層の天体データをサポートしている。天体データの基本データは位置データである。天体の種類によってさらに、大きさ、形、明るさ、スペクトル型などが付加されている。観測データには、主に国立天文台の天文データセンターにあるさまざまな天体の観測データのアーカイブを利用している。また、必要な観測データがない天体については、標準的な理論モデルがある場合はそれを使用している。球状星団や銀河系の内部構造のデータは理論モデルである。天体データには、天体以外にも、観

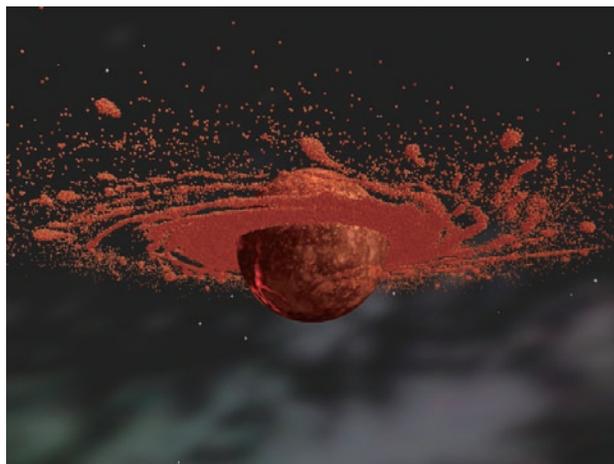


図-3 ムービー「月の形成」

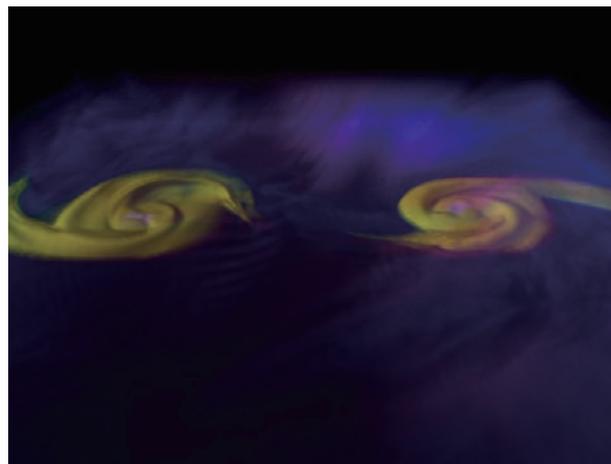


図-4 ムービー「連星系の形成」

測装置の3次元モデルも含まれている。これまでに、地上観測装置ではすばる望遠鏡とALMA望遠鏡（建設中）、宇宙観測装置では探査機パイオニア、ボイジャー、カッシーニを装備している。

4次元デジタル宇宙データのもう1つの要素は、ムービーライブラリである。これは、さまざまな天体现象のコンピュータシミュレーションを可視化したムービー群である。ムービーの元データは国立天文台のスーパーコンピュータ Fujitsu VPP5000や重力多体問題専用計算機GRAPEを用いて得られた、最新の研究成果である。粒子系データの映像化には、主にOpenGLを用いた独自開発の可視化ツール（開発コード名：ジンダイジ）を使用している。また、よりリアルな表現が必要な場合はLightWave3Dなどの市販CGソフトウェアも援用している。流体系データには、定番である可視化ソフトウェア、AVSを使用している。図-3と図-4に、粒子系データのムービー例「月の形成」と流体系データのムービー例「連星系の形成」からの1コマを示す。ムービーは通常のもうフォーマットのもので、単体で上映可能である。

表-1に、現在の宇宙データに含まれる天体のリストとムービーのタイトルを宇宙の階層ごとに示す。

### ★4次元デジタル宇宙データビューワ

4次元デジタル宇宙シアターでは、自作の宇宙データ表示プログラム（開発コード名：ミタカ）を用いる。ミタカビューワはPCクラスタ上で動作し、複数スクリーンでの同期立体投影に対応する。ミタカビューワでは、天体データ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可能だ。表示中の空間スケールから自動的にその空間スケールのデータを選び出し、適当なスケールを行いリアルタイムレンダリングを行う

階層	観測データ・理論モデル ムービー
惑星系	惑星、衛星、小惑星、カイパーベルト天体、オルトの雲 月の形成、地球型惑星の形成、火星探査、系外惑星系
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、球状星団の内部運動、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

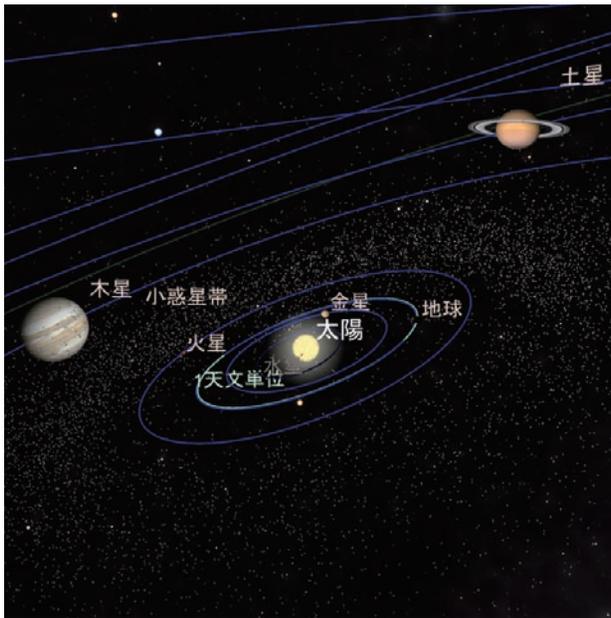
表-1 4次元デジタル宇宙データ表

のだ。立体視の場合は、右目用、左目用にそれぞれ視差をつけてレンダリングを行う。

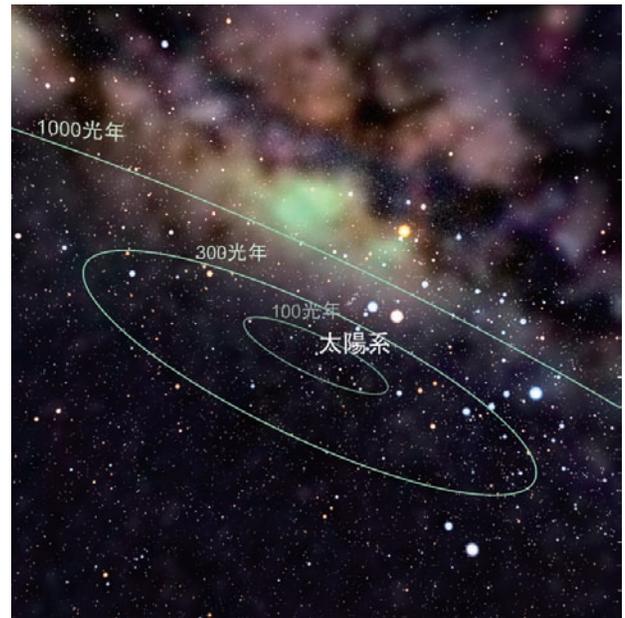
4次元デジタル宇宙データとミタカビューワの組合せは、地球から宇宙の果てまで、スケールを大きくしながら、連続的に全宇宙を描き出すことを可能にした。図-5にミタカで描画した天体データの例、太陽系（観測データ）、太陽近傍恒星（観測データ）、銀河系（理論モデル）、近傍銀河（観測データ）を示す。

ミタカビューワにはムービー再生機能も備わっており、あらかじめ右目用、左目用に視差をつけてレンダリングされているムービーファイルを再生することにより、立体ムービーを再生できる。

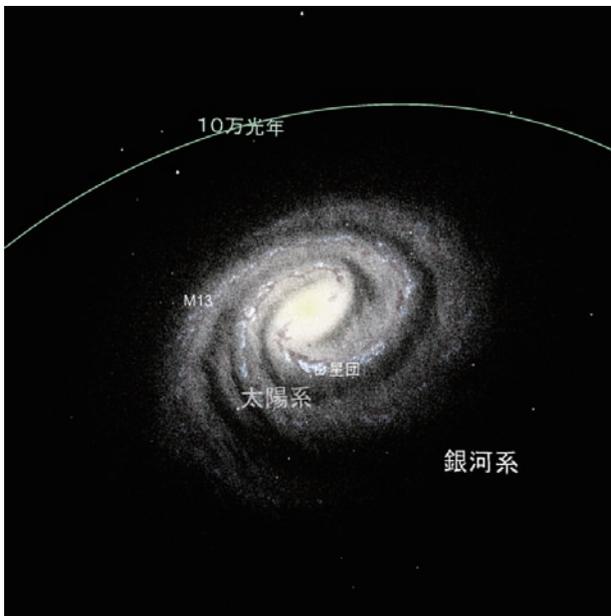
4次元デジタル宇宙データは素材であり、ミタカビューワ上で、さまざまなテーマにそって素材を組み合わせ、自由に「プログラム」を構成することができる。これまでに、「宇宙の階層構造」、「天の川の秘密」、「太陽系紀行」などのプログラムを製作している。現在のプログラムは解説者がコントロールパッドで操作しながら



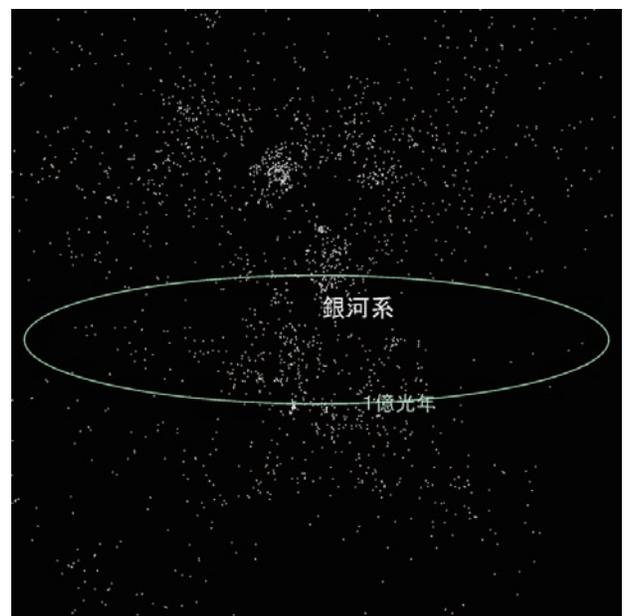
(a) 太陽系



(b) 太陽近傍の恒星



(c) 銀河系



(d) 近傍銀河

図-5 ミタカビューワによる天体データの可視化例

進めるライブ形式だ。研究者によるつたない解説ではあるが、現場の熱意が伝わるといことで、幸いなことに好評を得ている。将来は、ミタカビューワ上でプログラムを簡単なスクリプトで記述できるようにし、自動上映にも対応する予定である。

現在のシアターソフトウェアはWindowsXP/2000上に構築されている。ミタカビューワの基本プログラムはC++で書かれている。ユーザインタ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。

## ■ 4次元デジタル宇宙シアターの活用 ■

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1~2カ月に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、雑誌などで報道された。2004年秋までに2,500人以上の見学者が訪れている。また、同時に公開を開始したプロジェクトのWebには、すでに58,000件を超えるアクセスがきている(2004年10月末現在)。

4D2Uプロジェクトで開発された4次元デジタル宇



宙データはすでに、日本科学未来館や国立科学博物館をはじめとする全国の博物館、そしてプラネタリウムに供給されている。また、NHKスペシャルなどの科学番組でも使用されている。さらに、4D2U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決めた公共天文台や科学館も存在する。

現プロジェクトの終了時点で、成果物をWebを利用してリリースする予定だ。それまでに、観測データ、理論モデル、シミュレーションムービーを充実させ、さらにシアターのインタフェースを洗練させていくつもりである。リリースでは特別なハードウェアを必要としない1面版を中心とする。これは普通の1台のPC上でシアターと同様の内容が見られるものだが、立体視はできない。しかし、液晶プロジェクタ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を楽しむことができる。学校の教室や博物館の展示などで使用してもらえたらと考えている。

また、4D2Uシアターを研究支援に役立てる準備も進めている。4次元デジタル宇宙データのフォーマットを公開し、研究者が自分の観測もしくはシミュレーションデータをミタカビューワで手軽にインタラクティブに3次元可視化できるようにする計画である。

さらに、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。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コンテンツを開発中である。また、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ての遠隔地からの投影も可能である。そのための宇宙データ通信の基礎実験を行っている。

## ■第2期プロジェクトへ■

4D2Uプロジェクトではこれまでに4次元可視化実験システム「4次元デジタル宇宙シアター」を開発し、そこで上映するための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、天体データ(観測データ、理論モデル)と天体現象ムービーからなる。これまでにそれぞれの要素の可視化の基本方法を確立した。さらに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。そして、科学館、プラネタリウム、テレビ番組等へのデータ供給も多数行っている。

国立天文台では、4D2Uプロジェクトは3年間で終了するものではなく、長期的なものと考えている。現プロジェクトは、その中の第1期と位置付けている。今後も4次元デジタル宇宙データをますます充実させていく予定である。また、シアターのハードウェアをさらに発展させていく計画である。すでに、2004年7月から文部科学省の科学技術振興調整費を得て、3年間の第2期4D2U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」(研究代表者:観山正見)も始まっている。ここでは、第1期プロジェクトの成果をさらに発展させ、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、インターネット配信による家庭用シアターの公開を目指している。

4D2Uプロジェクトの最新情報についてはプロジェクトのWebサイト<http://th.nao.ac.jp/~4d2u/>をご覧ください。機会があればぜひ一度、4次元デジタル宇宙を体感していただきたい。(平成16年11月26日受付)

