

4次元デジタル宇宙をあなたに 研究者が開発したダイナミックシアター

[取材協力] 国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト

天文学の実際のデータをもとにした立体視コンテンツが、研究者の手で開発されている。プロジェクトは今第2期に入り、新たな展開をみせている。

天文学者の夢

「銀河系（天の川銀河）が回転しているのを見てみたい」

「星が生まれる現場をムービーにしてみたい」

「地球が誕生する過程を目の当たりにしてみたい」

誰もが抱く夢のようだが、これは最先端の研究者たちの夢であった。

観測で得られる写真は2次元のある時刻のスナップショット。たとえば、銀河系に近いアンドロメダ銀河は、細長い楕円に見えるが、円盤状の3次元構造になっていると考えられている。しかも、銀河は静止しているわけではなく、無数の星とガスがいっしょになって回転している。観測データを解析することによって3次元の姿をえがき、かつ動きを入れることができれば、銀河の理解は大きく進むであろう。

太陽系や地球の形成過程については、理論モデルを使ったシミュレーションの研究が行われている。コンピュータシミュレーションは観測、理論に次ぐ第3の研究法として発展してきたもので、今日では空間3次元と時間1次元の4次元で計算している。任意の時刻のデータを取りだしたり、時間刻みでデータを表示することが可能である。ところが、人間は「動き」をとらえることに秀でていて、ムービーにして全体を見ていくと、ある瞬間

におこった特徴的な現象を発見することができる。

国立天文台には、すばる望遠鏡をはじめとする世界一級の観測装置を使った観測データと、スーパーコンピュータなどによるシミュレーションデータが蓄積されている。それらを加工すれば、最新のデータにもとづいたコンテンツをつくることができるはずだ。これまでは研究に「不可欠」という意識はなかったが、小型で手軽に扱える可視化システムが開発されれば、天文研究の画期的なツールになるのではないかと。そんな予感があった。

プロジェクトのスタート

こうした天文学者の思いが実現するチャンスが訪れた。科学技術振興機構（JST）が2001年、計算科学技術を活用する研究開発プログラムを公募したのである。

夢を温めてきた観山正見・副台長は早速、小久保英一郎・主任研究員に相談した。惑星や月の形成過程の研究者で、CG制作にも力を入れてきた小久保さんはすぐに賛成した。国立天文台の計算センターにいたポストクの林満さんにも声をかけた。林さんは宇宙における電離ガス（プラズマ）の運動を磁気流体としてシミュレーションで研究している。ついで、月のCG制作のときの仲間であった三浦均さん（武蔵野美術大学）、3次元シアター開発のパイオニアである高幣俊之さん（理化学研究所）に加わってもらった。そんな

中で、海部宣男・台長が同じような夢をもっていることがわかり、プロジェクトの代表者に決まった。

「海部さんと観山さんは名前だけという誤解が一部ありますが、そうではありませんでした。申請書は、両氏と林さんと私で次々に手を加えて完成させたのです」と小久保さん。

熱意のこもった申請書は採用され、「4次元デジタル宇宙プロジェクト（4-Dimensional Digital Universe：略称は4D2Uプロジェクト）」はスタートした。「デジタル」とはデジタルデータを使ったCGを意味する。

2002年春、さらに2人のポストクを募った。プラズマをシミュレーションで研究する加藤恒彦さんと、衛星の形成をシミュレーションで研究する武田隆顕さん。これで、プロジェクトのメンバーがそろった。主な役割分担は、海部台長と観山副台長がプロデュース、現場監督は小久保さん、加藤さんは投影ソフトウェアの開発と観測データの可視化、林さんは流体系シミュレーションデータの可視化、武田さんは粒子系シミュレーションデータの可視化、高幣さんは立体視コンテンツ制作の指導、三浦さんは画像表現の指導ということになった。

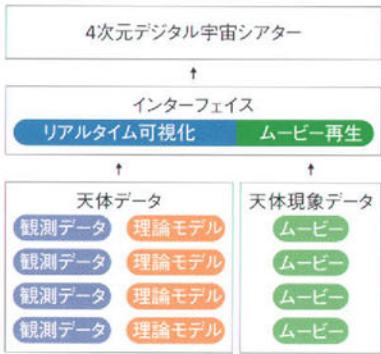
まず、全員で基本システムについて勉強した。そして3人のポストクが中心になって、6台のパーソナルコンピュータ（PC）を同期させて画像を投影するシステムや、



4次元デジタル宇宙シアターで画面を検討する「常駐開発部隊4人組」。
右から加藤さん、コントローラーを動かす林さん、武田さん、額谷さん。

4次元デジタル宇宙データ

大きく2種類のデータに分かれる。一つは静的な天体データで、もう一つは動的な天体現象データである。天体データは観測データと理論モデルからなり、位置データを基本として、大きさ、明るさ、スペクトルなどからなる。天体現象データはコンピュータシミュレーションをムービー化したものである。

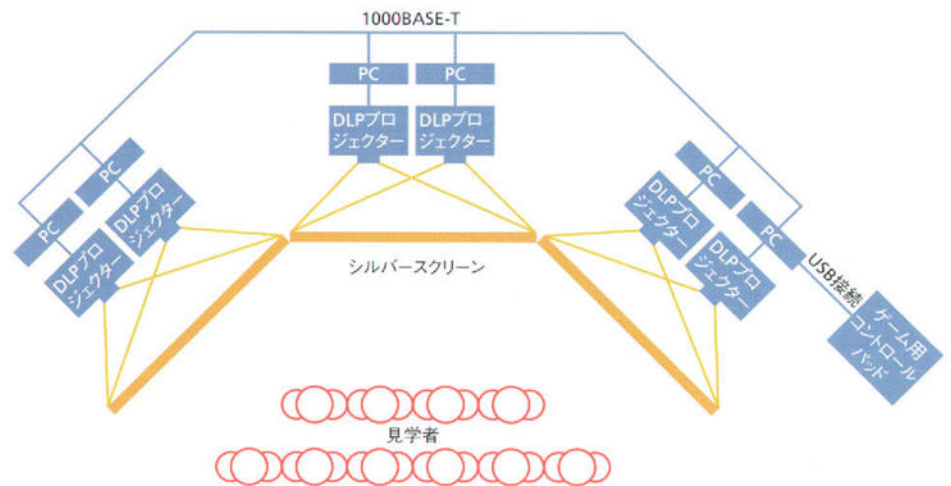


4次元デジタル宇宙シアターの構成

シアターは、135度の角度で接続された3面の1.8m四方の正方形スクリーンと、6台のプロジェクター、6台のPCから構成されている。

立体視の実現には偏光方式を取り入れていて、3面のスクリーンには偏光を保存する特殊な素材のシルバースクリーンが使われている。それぞれのスクリーンに、右目用と左目用の映像が投影される。

PCは自作で、CPUはIntel社Pentium4 3.2GHz、GPUにはNVIDIA社のGeForce FX5900を使用。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。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。



シミュレーションデータを可視化して表示するプログラムなどが開発されていた。

映像を投影するスクリーンは1.8m四方の正方形のスクリーン3面を135度の角度でつないだもので、各スクリーンには2台のプロジェクターから右目用と左目用の映像が投影される。偏光メガネを通してこの映像を見ると、右目と左目にそれぞれの映像が入り、これが脳で合成されて立体的に見える仕組みである。人の目が右と左に分かれているため、近くのもの位置がずれて見え（視差）、それによって立体視できることを利用したもの。右目で見えるであろう天体の画像と、左目で見えるであろう天体の画像をあらかじめ計算し、視差をつけてレンダリングしてある。

シミュレーションデータから観測データへ

最初に映像化したシミュレーションデータは、林さんが計算した若い星から噴

きだすジェット現象や、小久保さんと武田さんの研究テーマである月の形成過程といった自前のものであった。たとえば、林さんの流体系データの場合、ガスの密度や温度などが3次元格子上の数値データとして計算される。これらの数値の違いを色の違いに置き換えて映像化していく。そのデータ量は数百ギガバイトからテラバイトオーダーになる。数百枚の静止画をつなげていくのにほぼ1日かかるという地道な作業を要する。

投影テストの結果は予想以上によかった。解像度は768×768ピクセル、毎秒15～30フレームの速度でスムーズな立体映像が映しだされ、没入感も十分であった。時間にするると1～2分のコンテンツとなる。

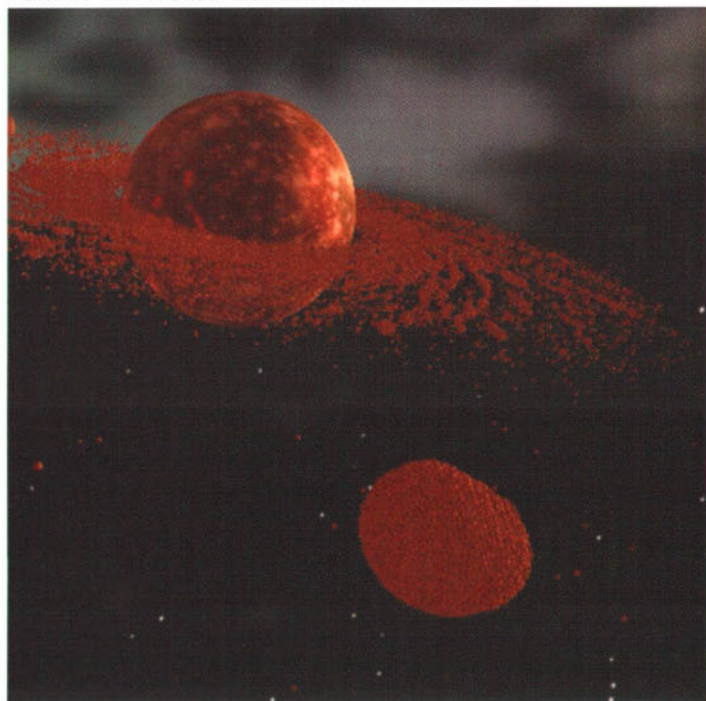
続いて、巨大ブラックホールのまわりのガスの運動をはじめとしたシミュレーションデータが映像化された。自主性を重んじて楽しみながらやろう。これがプロジェクトの方針だったので、制作はそれぞれの裁量に任せて分業で進められた。

完成したコンテンツは皆で見て検討したが、そのほかには週1回、ランチミーティングと称する牧歌的な話し合いをする程度だった。ポスドク3人にとって、仕事時間の半分をプロジェクトに充て、残りの半分は自分の研究ができるという条件はとてありがたかったという。

数本のコンテンツができたところで、国立天文台の研究者や来訪者に見てもらった。「面白い！」という感激の声がかえてきたのはいうまでもないが、同時に「むずかしい」という意見が出た。国立天文台三鷹キャンパスの一般公開のときに行ったデモでは、「もっと基礎的な宇宙の姿、たとえば太陽のまわりで惑星がどう動いているかを3次元で見られるようなものがほしい」という要望が強かった。

この段階で、すでにシミュレーションデータの可視化についての手法はほぼ確立されていたので、新たに観測データをもとにした3次元コンテンツを開発することにした。その一つが、太陽近傍の恒星

コンピュータシミュレーションの粒子系データをもとにしたムービー「月の形成」の1コマ。月の材料となる物質を10万個の粒子として計算し、それらが合体して月が形成される過程を表現している。



コンピュータシミュレーションの流体系データをもとにしたムービー「連星の形成」。星はガスの雲が収縮して生まれる。回転するガス雲の中で、星の元になる渦が形成されていく様子が表現されている（データ提供：松本倫明）。



を表示するプログラムであった。責任者の加藤さんはその制作に集中した。そして、太陽近傍の星のデータを実装すると、太陽系の天体、銀河系、局部銀河群、銀河団、宇宙の大規模構造へ、宇宙の階層構造が連続的に見られるコンテンツへと発展させていった。必要な観測データがないところでは理論モデルが使われた。

これで統一性が出てきた。それまでのシミュレーションデータをもとにしたコンテンツは単体で、いわば素材といえるものだった。これらの素材との組み合わせも可能になり、メニュー画面に表示された宇宙の階層、天体、現象を選ぶと、任意の映像を再現することができるようになった。この一連の機能をもったソフトウェアは「Mitaka」というコード名で呼ばれている。

その後も素材の制作は続けられ、Mitakaも充実された。スタートから2年、所期の目的はすでに達成されていた。「少数精鋭、ポストクの力が成功の鍵でした」と、観山副台長は語る。

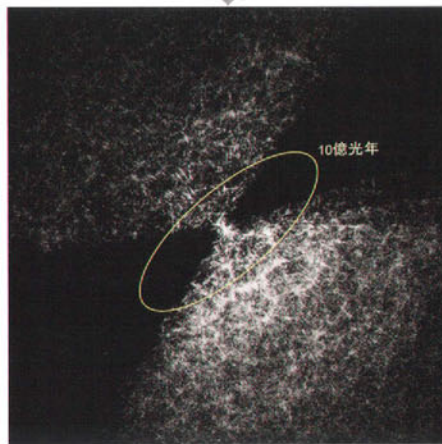
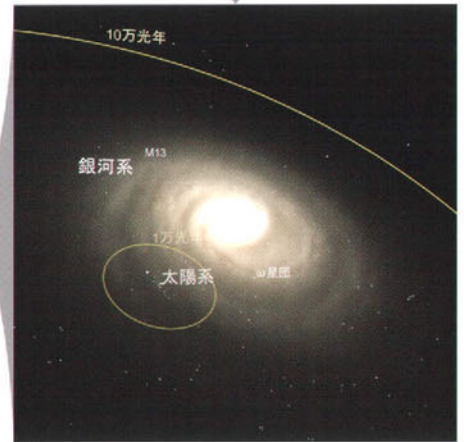
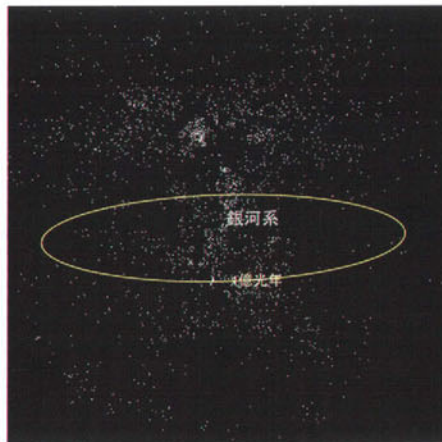
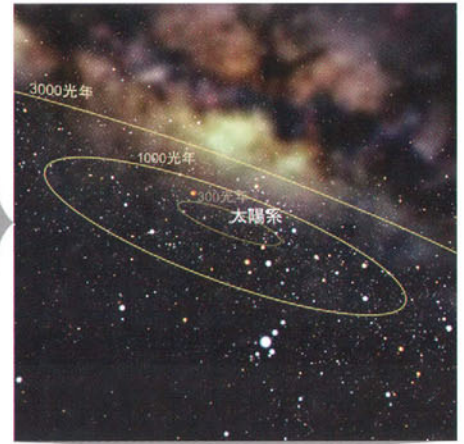
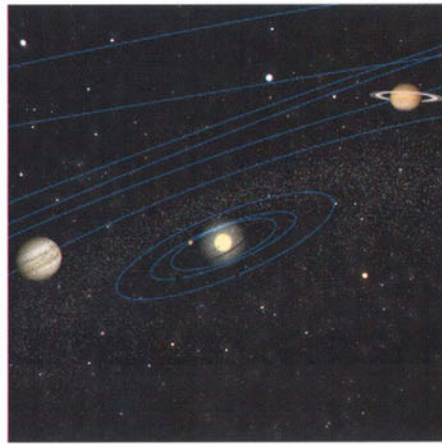
「4次元デジタル宇宙をあなたに」

4D2Uシアターの当初の目的は、天文学者に現実には得がたい3次元の視点を提供し、研究に役立ててもらうことであった。武田さんは、開発した自分が第一の利用者になることも多いと語っている。

「シミュレーションのコードを開発しているときなど、計算で出た結果を映像にしてみると、どこで間違えたのか一目瞭然ということもあります」

一方、Mitakaが開発される中で、4次元デジタル宇宙シアターは研究のためだけに使うのではなく、一般公開してはどうかという意見が強くなってきた。天文学の最新の成果を正しく伝えるための格好の普及活動となるからだ。

一般の人のための試験的な上映は2003年6月から開かれた。Mitakaビューア上で構成した『太陽系紀行』『天の川の秘密』『宇宙の階層構造』といったプログラムを、解説者がコントロールパッドで操作しながら進めるライブ形式である。解説者はシアターを開発した研究者なので、



Mitakaビューアでえがいた宇宙の階層構造。上段左から順に太陽系、太陽近傍の恒星、銀河系（天の川銀河）、銀河団、宇宙の大規模構造

熱が入る。流暢とはいえないが、それが受けた。

若い研究者にとっては、一般の人の感動を直に聞くことは研究への励みになった。「自分がやったことへの手ごたえがかえってくる。これが魅力です」、林さんの目が輝いていた。

三鷹キャンパスのシアターでは特殊なスクリーンを使っているが、その映像を

1面の通常の画面に投影することでも、十分な鮮明さと、フィクションにはない迫力が得られる。そこで、科学館やプラネタリウムへの映像データの提供が始まった。海外での評価も高く、ニューヨークの自然史博物館では現在、ハリソン・フォードのナレーションで、小久保さんの『地球の形成』が上映されている。

こうしてプロジェクトに広がりが出て



4次元デジタル宇宙プロジェクト室では今、ドーム型シアターの建設に向けて、議論が重ねられている。

きた。略称の4D2Uには“4-D to you”という意味がこめられているが、この“you”は研究者と一般の人の両方になったのである。

第2期ではドームでの立体視を実現

4D2UプロジェクトはJSTの3ヵ年計画として進められてきたが、全員が継続を望んだ。そこで、文部科学省の科学技術振興調整費を申請し、2004年7月から新しいプロジェクト「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)を立ち上げた。

今回のプロジェクトの第一の目的は、プラネタリウムのようなドーム型シアターでの立体映像投影システムの開発である。ドームでの立体視というのは世界でもほとんど例がないもので、第1期より実験的要素が強い。三鷹キャンパスには直径10mの実験用ドームが建設される。

立体視を実現する方式は、これまでの偏光方式から色メガネ方式に変更される。偏光を保存する現在のシルバースクリーンをドームに使うとすると、コストがかなりすぎる。色メガネ方式では、それぞれの色の波長に楕形のフィルターを入れておき、右目と左目の映像を分けているので、普通のスクリーンでも立体視を実現できる。

ドームの投影には12~14台のプロジェクターが使われる。それぞれのプロジェクターから投影される画像は四角形で、重なり合って一つの画面をつくる。そこで、複数の画像をブレンドする技術(エッジブレンディング)や、球面スクリーンでの曲面補正といった要素技術が新たに必要になってくる。

このようなシステムの開発とコンテンツの制作は、プラネタリウムへの配給につながっていく。そこで、日本のプラネタリウムハードウェアの90%以上を供給しているコニカミノルタプラネタリウムと五藤光学研究所にも参加してもらっている。

プロジェクトの第2の目的は、移動式のシステムをつくることである。1面のスクリーンにして、教室などで見られるように、装置も分解できるようにする。第3は、インターネット配信でも見られる家庭用シアターをつくることで、すでに2005年2月からコンテンツのリリースが始まっている。

このように第2期では新しい技術の開発、コンテンツの制作、配給、広報・普及活動と、プロジェクトの仕事が広がったので、スタッフも増えた。

第1期のメンバーは全員、役割分担もそのまま第2期プロジェクトに組み入れら

れた。新しく加わったのは、デザインを担当する額谷宙彦さん(理化学研究所)、ドーム建設と外部との交渉や配給に携わる縣秀彦助教授と小野智子さん、著作権管理を担当する蛭川由彦さん、プロジェクト室秘書役の岩下由美さん。また理化学研究所からは、シミュレーションデータの可視化を研究する戎崎俊一さんが、日本科学技術振興財団からは、移動式システムの開発・配給の担当者として田代英俊さん、奥野光さん、中村隆さんがメンバーに加わった。

人数が多くなると、ハード面やソフト面それぞれの調整も必要になってくる。議論することも増えた。たとえば、ドームの設計をどうするかといった大きな問題から、4D2Uのロゴのデザインといったことまで、テーマはさまざまである。コンテンツのデザイン・演出について、さらに国立天文台が作り配給しているということの意味についても議論している。コンテンツ開発部隊のリーダーである小久保さんは、次のように語っている。

「このシステムを設計したときの思想は、われわれが提供するの素材だということ。つくりこんでしまったら、日本全国どこでも同じものを見ることになる。それではつまらないでしょう。素材を使う人がそれぞれアレンジすればいいのです。科学的に正しい素材をつくるのがもっとも大切だと思っています」

もちろん、配給のことは考えて、ナレーションをつけるとか、スクリプトを出す、自動上映できるようにするといった機能は加えていく。

研究面での可能性を求めて

コンテンツの数は着実に増えているが、抜け落ちている分野もある。銀河系については映像化されているが、銀河は多様である。楕円銀河や棒渦巻き銀河などの3次元化は、理論モデルをもとにして進めていくことができるだろう。ところが、観測データをもとにした3次元化はなかなかむずかしく、課題も多い。

観山副台長と小久保さんに、今後の抱負を聞いてみた。

「観測データの映像化を本格的に進めたいと考えています。たとえば、すばる望遠鏡がとらえた星の誕生領域S106。生まれてまもない星が紫外線を放射し、まわりのガスや塵を吹き飛ばしています。その現在の姿から過去をシミュレーションし、時間的経緯まで追うことができるようにしたいですね」

このようなムービーを実現させるには、これまでのように可視光の観測データだけを使うのではなく、さまざまな波長域での観測データを統合し、さらに理論モ

デルと融合させることになる。そのためには多くの研究者の協力が必要になるが、それだけに研究の意義も大きい。

「国立天文台は自然科学研究機構の一員。将来は、同じ機構内の分子科学研究所、生理学研究所、基礎生物学研究所などのデータを使ってコンテンツをつくることも考えています」

一方、研究のツールとして役立てる準備も進んでいる。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データやシミュレーションデー

タをMitakaビューアで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。

「研究者自身が自分のデータを、動画でしかもインタラクティブに視点を変えながら見られるシステムを開発できれば、ダイレクトに研究に役立つでしょう。でも、今のコンピュータの能力では無理です。いずれは実現したいですね」

研究者はいつも未来を見ている。

(取材・構成 福島佐紀子)

シアターの一般公開とコンテンツのリリース

蜷川由彦 自然科学研究機構国立天文台

4次元デジタル宇宙シアターの上映をほぼ2カ月に1度の頻度で実施していて、時折、気分を悪くする方がいる。三つあるスクリーンを横に並べて映像をつなぎ合わせているうえに、慣れない立体視メガネをかけていることもあって、太陽系の惑星の軌道を表示させたまま視点を変えたりする操作を急激に行った際などに起こりやすい。こうした映像が苦手な方には、いつも申し訳ない気持ちでいっぱいになる。

ところが、私たちのシアターの醍醐味はまさにここにある。2台のパソコンを1セットにして一つのスクリーンを担当させ、三つのスクリーンに映像を描きだすのに必要な計6台のパソコンをテレビゲーム機のコントローラーで操作することで、地球から宇宙に飛び立ったり、生まれたばかりの星たちが集まった「すばる(昴)」の近くにまで移動したり、銀河系を外から眺めたりと、宇宙を自由自在に“旅”できる。

シアターに入れるのは1回の上映で最大25人。だいたい土曜日の午後に上映するケースが多く、場合によっては6回以上に分けて上映するほどの人気となっている。2003年6月から05年6月までに約3500人がシアターで宇宙を旅している。

シアターに来られない方にも宇宙の旅を体験していただこうと、シアター上映に使っているソフトウェア、4次元デジタル宇宙ビューア「Mitaka」の軽量版を05年2月からweb(<http://4d2u.nao.ac.jp/>)で公開している。パソコンにダウンロードして起動させることで、立体視はできないが、シアターと同じ映像を表示させられる。ハイスペックのWindowsパソコンでないと快適に動作しない現状を改善しようと改良を加えてい

るところで、Mac版も開発する予定なので、楽しみに。

ダウンロードした方には個人的に楽しんでもらいたいし、学校などの授業などでもどんどん使ってもらいたい。最近ではプラネタリウムや科学館などでパソコンからの映像をプロジェクターで投影して上映するのに活用するケースも増えている。

また05年2月からは、『宇宙の大規模構造』と『火星探検』の2本の動画ファイルのダウンロードも可能になっている。9月にはwebの装いも新たにコンテンツを充実。「Mitaka」をバージョンアップさせるとともに、新しく『渦巻銀河の形成』と『連星系の形成』の2本の動画ファイルを公開した。シアターで上映している画像よりも解像度は落ちるが、MPEG形式のファイルなので再生ソフトが対応していればパソコンで楽しむことができる。

一時、サーバーがパンクしかかるほどダウンロードが集中して嬉しいばかり。今後もweb公開する動画ファイル数を増やす計画なので、こちらも乞うご期待!!

