

科学技術計算による 宇宙映像表現の活用動向

Trends in Space Visualization using Scientific Computing

安藤 幸央

(株) エクサ コピキタス・PCM
ソリューション部/国立天文台

近年のコンピュータパワーの増大により、大規模な科学技術計算が手軽に個人でも行うことが可能になった。また、コンピュータグラフィクスとして生成される映像表現も科学技術計算の研究成果を反映し、現実感のある表現が一般化してきた。

従来の映像表現は目で見える自然現象を模倣したものが多かったが、近年では実際に物理現象をコンピュータ上でシミュレーションした結果を用いることが増えている。

本稿では、特に「宇宙映像」の事例紹介を通して、科学技術計算およびその結果の可視化を実現するための技術に関する研究動向、課題および将来展望等について紹介する。

科学技術計算と宇宙映像を取り巻く状況

測定・観測・シミュレーションで得られる大量の数値計算データを的確に可視化し表現した映像からは、単なる数値データの集合からは分からなかった事象の解釈を容易にするだけでなく、新たに発見が行えることが期待される。また、図表や写真、理論だけでは伝えきれなかった事象を分かりやすく伝えるという、教育分野への貢献も期待される。

ここでは「宇宙映像」を取り上げ、その活用状況を中心に紹介する。「宇宙映像」とは観測データやシミュレーション結果を可視化した静止画や動画である。コンピュータの中に仮想的な宇宙を作り、観測やシミュレーションで得られたデータを目で見える形での確かな色の点の集合で描画する。動画像においては、時系列に従って描画された点を動かす(再描画)ことを繰り返す。

可視化の元となるシミュレーション演算の世界においてははまだスーパーコンピュータが主役であるが、コンピュータのハードウェア、特にグラフィクスハードウェアの高速化によって、粒子の集合(パーティクル)の演算・描画が現実的なスピードで行えるようになった。これは、市販パソコンと同等のCPUコアプロセッサを大量に用いたスーパーコンピュータや、グラフィクスチップを科学技術計算専用で用いるGPGPU(General-

Purpose computation on GPUs)³⁾の台頭によるものである。

このような構成のコンピュータにおける計算パワーは膨大でありながらも、1つ1つの計算機単体は、ハイエンドの市販パソコンと同等クラスのものである。そのため、プログラムの再利用や、計算に関するノウハウの流用が可能になってきていることも普及の背景となっている。ただし、現状はまだメモリや並列化の制限や、精度の問題が大きい。

一方、プログラミング上の課題も多い。スペック上のパフォーマンス数値は良好な場合もあるが、現状は計測方法や評価方法に、標準化された指標ではなく、メーカー独自の指標が用いられる場合がある。実際に目的とする計算を行うことによる評価が重要であるとともに、さまざまなプログラミング上の工夫が必要であり、ホットスポットがどこにあるのかの見極めと、的確なチューニングが求められる。

また、倍精度演算が困難な計算箇所の場合、単精度の演算を組み合わせて目的の誤差範囲内に保つなど、研究の本筋ではない部分での工夫も必要となる。

さらに、プログラム記述における計算の自由度が上がった代わりに、ハードの性能と相反する効率の悪いコードが書けてしまうということも注意すべき点である。

宇宙映像の可視化における課題

▶ 大規模データを扱う際の課題と手法

可視化における課題は数多く存在するが、主たるものに、扱うデータ量の膨大さに起因するものが挙げられる。

宇宙映像の可視化の手順としては、シミュレーションデータから、可視化のために必要とされる属性値のみを粒子ごとの時系列データとしてあらかじめ抽出して扱う。その上で、シミュレーションデータが持つ属性値を3次元空間上の点群として表示し、映像ファイル(静止画)を生成する。各点群の属性値に対応する画面上の位置、大きさ、色、透明度を当てはめ、それらの見栄えを調整し、描画を行う。位置や大きさといった一般的な属性値のほかにも、可視化対象としてのデータ種別は、粒子の組成の色、化学組成(水素、ヘリウム、金属種別)、組成の年齢、回転速度、磁場の強さなど、さまざまな要素が挙げられる。ここでのデータの配列は、次のような形式をしている：

データの配例：

```
時刻 = 0.0000
      [属性値 1][属性値 2][属性値 3][属性値 4][属性値 5]
粒子 1  0.8984   0.1651   0.4681   1.1386   5.1654
粒子 2  0.4386   0.8468   0.5867   1.3684   6.6584
...
時刻 = 0.1000
      [属性値 1][属性値 2][属性値 3][属性値 4][属性値 5]
粒子 1  0.9816   0.1486   0.5158   1.0156   5.4863
粒子 2  0.4658   0.8865   0.5798   1.5486   5.4586
...
以下続く ...
```

宇宙映像の可視化用データは、研究の特性によって、大きく2種類に分かれる。1つは時系列ごとに書き出された、全粒子の位置、特性などを列挙したファイル群として得られるデータ、もう1つは、粒子ごとの時系列データを列挙したファイル群であり、粒子ごとの特性により時間刻みが異なる。どちらの形式も巨大なデータ量を扱うことになるが、適切なアプローチを用いることによりデータの肥大化を防ぐことができる。すなわち、時系列ごとのデータファイルは、必要な際に必要な時刻のデータが書かれたファイルにアクセスすればよい。つまり一定時間ごとのデータを記述した、それぞれの時間帯に分けられたファイルで扱うことができる。粒子ごとに時間刻みが異なるデータの場合には、ある瞬間に全粒子のデータが存在する一番短い時間ごとにデータファイルを分断して扱う工夫により対応している。

このように、スーパーコンピュータにおける計算結果

として可視化すべきデータは膨大に存在するが、そのデータ量が多すぎて全データを的確に可視化することが難しい。つまり、可視化の作業を行い始めてから、でき上がった画像や映像を確認するまでの時間がかかることによって、見栄えや色合いの調整や視点、視野角の調整など、試行錯誤の作業そのものに膨大な時間がかかることが問題視されている。

また、宇宙理論の研究で得られた数値計算結果は、期間が何万年分にも及ぶものや、空間範囲が数万光年と広すぎるものなど、映像化が困難な事例が多いことも同様の課題である。

その際には、時間を圧縮して数万倍速の映像を作成したり、広大な空間を画面内に収まるように描画したりするなどの工夫や演出も必要となる¹⁾。

▶ 高精細な画像と形式が不定なデータを扱う際の手法

画面サイズ以上の高解像度の映像(静止画)を必要とする場合は、コンピュータの内部に仮想的な画面描画バッファを用意し、その仮想画面へ描画することにより生成することができる。

さらに、色の深みや、黒さ、明るさをよりダイナミックに表現するために、通常のRGB各256階調の描画に加え、16bit実数階調での描画計算を行う。画面上の同じ場所に複数の粒子が存在し、それぞれの明るさを加算していくとすぐに明るさが飽和してしまうが、階調幅の広い表現で描画を行うことにより、色情報の飽和を避けることができる。また、最終的な表示装置や印刷装置の明るさ表現・性能に応じて、露出調整した映像に変換することができる。特に宇宙映像では、何も無い深黒の部分と、明るく輝く部分の差が大きいため、この手法は有効に機能する。

元となるシミュレーションデータには、研究用のプログラム専用に効率化された独自の数値フォーマットを持つものが多い。そのため、可視化にあたり、デコーダと呼ばれる、パラメータデータ群から描画用のデータを参照・算出するためのプログラムで前処理を行う。デコーダでは、数列が連続したもの、数列が繰り返しているもの、表形式で数列が並ぶもの、インデックス形式で表中の値を参照するものなど、汎用的なフォーマットを組み合わせることで適切なものを抽出することができる。

▶ 宇宙映像可視化の演出における課題

宇宙映像の可視化においては、数値シミュレーションから誰も実際には見たことのない世界を描画しなければいけないことも大きな課題である。一般のコンピュータグラフィクス映像であれば、どれだけ実写の映像に近い

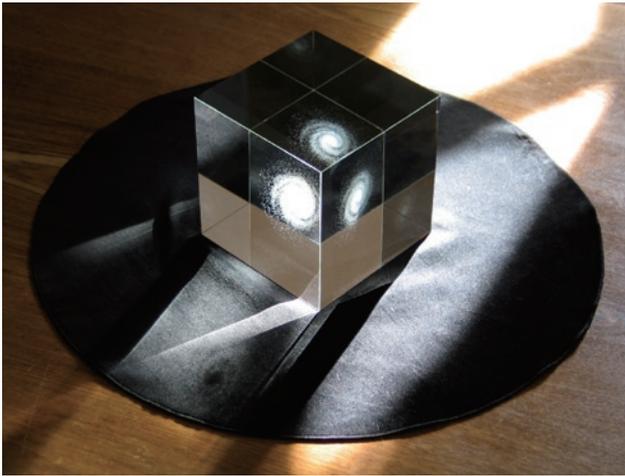


図-1 太陽系のそと[全景] (制作：リビングワールド)

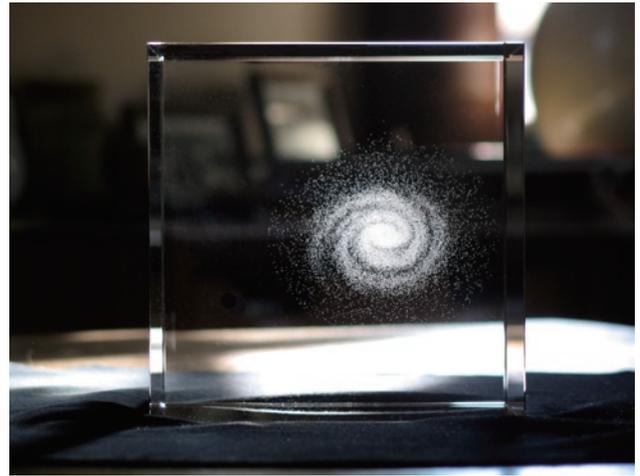


図-2 太陽系のそと[側面] (制作：リビングワールド)

かを1つの評価基準にすることができるが、宇宙映像の場合はこの基準はあてはまらない場合が多い。

また、観測データによって補足できる可視光範囲外の観測結果は、独自に色づけを行い、人の目に見える色合いの映像として表現しなければならない。

以上のように、宇宙映像においては、単なる数値からの映像化といっても、明確な解のない大変難しい作業である。すべてが分かっているわけではないので、分かっている範囲の情報から補足しながら映像化しなければならない。どこかで作業者が判断し、補足しながら映像を作らなければならない。

また派手な商業映画のように、過剰な演出で単に見栄えの良い映像を作る方が容易な場合もあるが、面倒であっても科学映像として誤った情報を伝えてはいけないという姿勢が大切である。

結果的には、不正確な映像よりも、正確なデータを元に映像化したものの方が圧倒的な説得力を持つということが、多くの観客の感想として得られている²⁾。

宇宙映像表現の事例

▶ 宇宙映像の利用状況

宇宙映像の代表的な事例として、国立天文台⁴⁾が上映しているものがある。東京都三鷹市の国立天文台内には、立体視ができる4D2Uドームシアターと3面シアターが設置されている。これらは、宇宙映像の開発用、テスト用のシアターとしての役目も果たしている。ここで制作された宇宙映像は、日本内外の各所に配布され、多くの観客の目で評価されている。

国立天文台と同様の3面シアターは、米国ハワイ州ハワイ島のイミロア天文センター、韓国陽州市、東京都お台場の日本科学未来館のVRシアターでも観ることができる。また、比較的小規模のシアターは、やまがた天文

台、国立天文台水沢観測所、つくばエキスポセンターなど、各地で設置が進んでいる。

一方、国立天文台では、Webページによるアウトリーチ（文化・芸術普及活動）にも力を入れており、Webページ上で多くのコンテンツを楽しむことができる(<http://4d2u.nao.ac.jp/>)。また、後述の可視化ソフトウェアの無料配布では、そのダウンロード数の多さから幅広く天文学の裾野が広がっていることが分かる。

シミュレーションデータから可視化された宇宙映像は、天体望遠鏡の写真などと違って、解像度に制限がないのが大きな利点である。印刷用にコンピュータ画面解像度の数倍でデータを用意することも可能である。計算時間さえかければ、どこまでも緻密で高解像度の画像・映像が得られる。巨大なポスターや高解像度のハイビジョン映像へも的確な素材を提供することができる。

国立天文台が作成した映像を活用した特殊な事例の1つとして、アートオブジェクト作品も好評を博している。

その宇宙映像利用の1例を、[図-1](#)、[図-2](#)に示す。

デザインオフィス、リビングワールドによる作品「太陽系のそと」は国立天文台が公開したデータを元に、1辺が12cmのガラスキューブにレーザーで刻印したものである。ガラスキューブ内には私たちの太陽系を中心として銀河系が描かれている。

▶ 宇宙映像の制作技術

国立天文台内ドームシアターで上映している宇宙映像は、主に宇宙可視化ソフトウェア Mitaka⁵⁾ と Zindaiji⁶⁾ を利用したものである。ここでは、これらのツールを利用した宇宙映像制作技術の事例を紹介する。

Mitakaは大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台、4次元デジタル宇宙プロジェクトチームが開発した、科学検証に基づいた非常にリアルな天文情報を

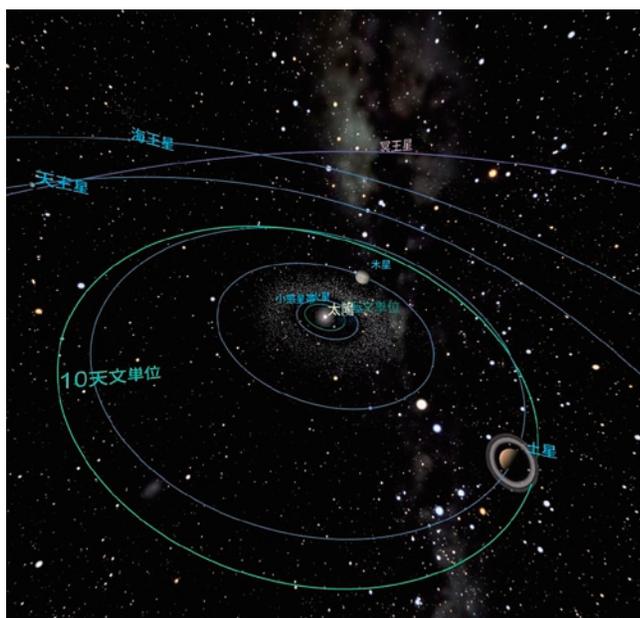


図-3 Mitaka で描画された銀河系の様子

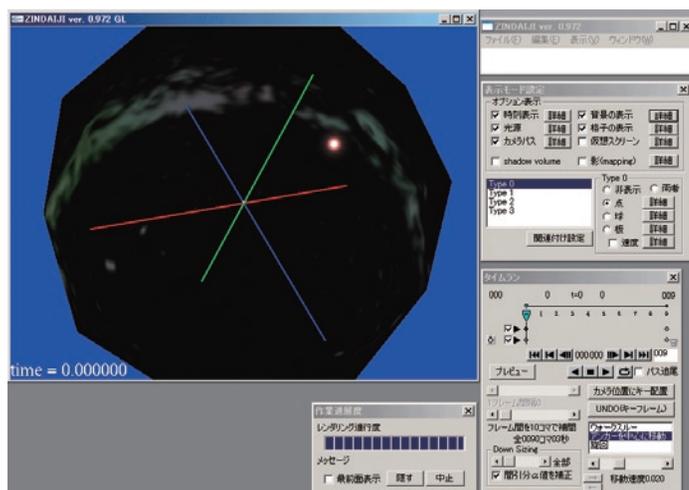


図-4 Zindaiji の操作画面. 映像の視点方向を設定中

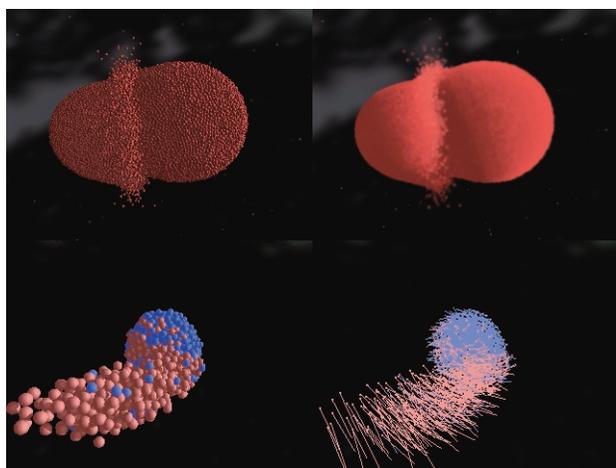


図-5 Zindaiji による粒子の描画例

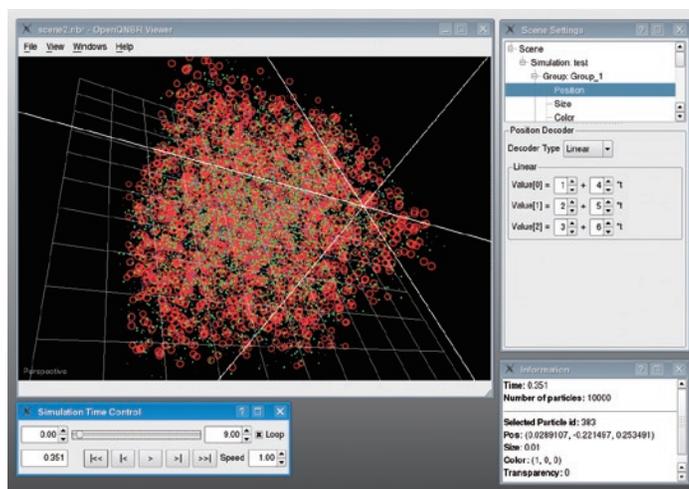


図-6 OpenNBR の操作画面, タイムコントロールを調整中

シミュレートリアルタイム描画できるソフトウェアである。Zindaiji は、N-Body (N 体) を静止画像・動画像として可視化するための補助ツールである。

図-3 は Mitaka を用いて私たちの住む銀河系全景を描いたものであり、現在または過去の惑星の配置を軌道線とともに空間的に把握することができる。図-4 は Zindaiji にて、生成される映像の視線方向を設定し、映像を確認している作業中の画面である。図-5 は、月形成におけるシミュレーション結果を元に粒子の位置データを映像として見やすい赤い粒の集合として描いている描画例である。

Mitaka と Zindaiji は現在オープンソースツールとして無料で公開されており、数多くの天文ファンや天文学の研究者に利用されている。

粒状物体の可視化ツールである Zindaiji は機能強化のため、最新版の OpenNBR (Open N-Body Renderer)⁷⁾

に後を引き継いでいる。OpenNBR はオリハルコンテクノロジーの高幣俊之氏、国立天文台の武田隆顕氏を中心にオープンソースのツールとして開発が進んでいる。

OpenNBR では、コンピュータのグラフィクスハードウェアを活用し、高速に大規模な粒状データの描画を高解像度で行うことができる。データの解釈や描画の設定をコンピュータ画面上でインタラクティブに操作・調整可能であり、試行錯誤に便利なツールである。

また、視点の設定や視点の動きを一般的な CG ソフト Maya (Autodesk 社製) で設定可能な点が、従来の可視化ツールになかった特徴である。これは、研究者でも分かりやすい必要十分な機能と、CG デザイナーが使い慣れたツールによる表現の双方を実現したものであり、研究者とデザイナー、アーティストとの垣根を下げる働きにも貢献している。

図-6 は OpenNBR で時間とともに変化するデータを

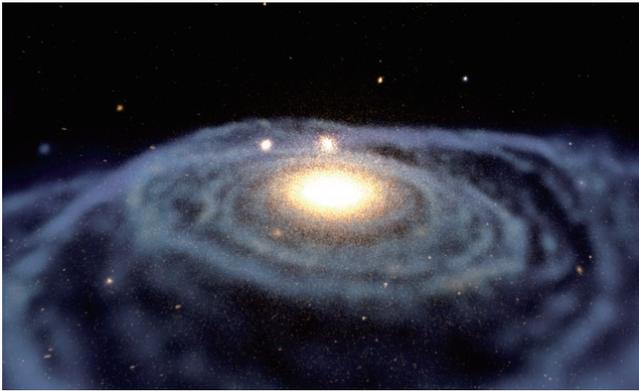


図-7 渦巻銀河の形成 (Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)

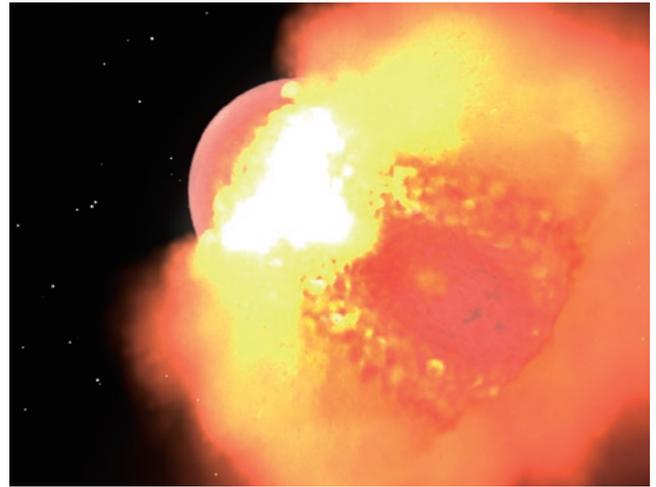


図-8 地球と月の誕生 (Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)



図-9 cD (Compact Diffuse) 巨大な楕円銀河の形成 (Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)

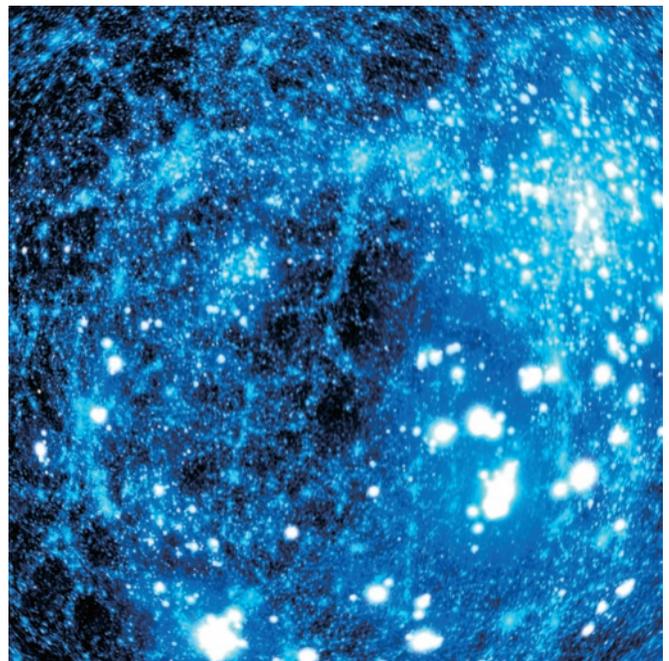


図-10 宇宙の大規模構造 (Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)

読み込み、時間軸に従って、粒子群の配置が変化する様子を確認している例である。

▶ 宇宙映像の事例

Mitaka, Zindaiji を活用し、さまざまな宇宙映像が制作されている。基本となるのは観測データならびにシミュレーション結果のデータである。コンピュータ上で1フレームごとに計算を行い、時系列に従った画像ファイルを出力し、動画像として編集・加工を行っている。

図-7～図-12 は最新の研究成果を視覚的に把握しやすいよう、シミュレーションデータを元に可視化した例であり、図-13～図-18 は可視化ソフトウェア Mitaka を用いて宇宙空間の映像を表示した例である。Mitaka の画像は最新の観測結果に基づいたものである。

宇宙映像に関する課題と今後の展望

現在、一般家庭用テレビの大画面化に伴い、より高解像度で美しい映像を見慣れるようになってきた。

ハイビジョンクラスの解像度が一般化し、さらに 4K と呼ばれる横 4000 ピクセル以上の解像度を持ったデジタルシネマなど、それ以上の解像度も浸透しつつある。

解像度の高まりによって、視覚から得られる情報量の増大には圧倒的なものがあり、その没入感によって人間の認知・認識をより深めることができる。シミュレーションによる宇宙映像の場合、実写では得られない高解像度の映像を生成することができる。

また、表示装置のハイダイナミックレンジ化も進み、より鮮やかな発色と、黒色表現の引き締まった表示効果

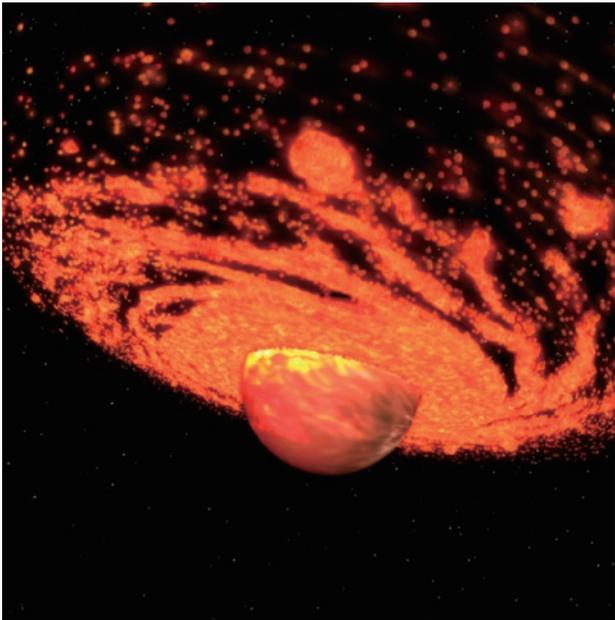


図-11 地球と月の誕生 (Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)



図-12 渦巻き銀河の形成 (Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)



図-13 Mitaka による地球拡大図
(Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)

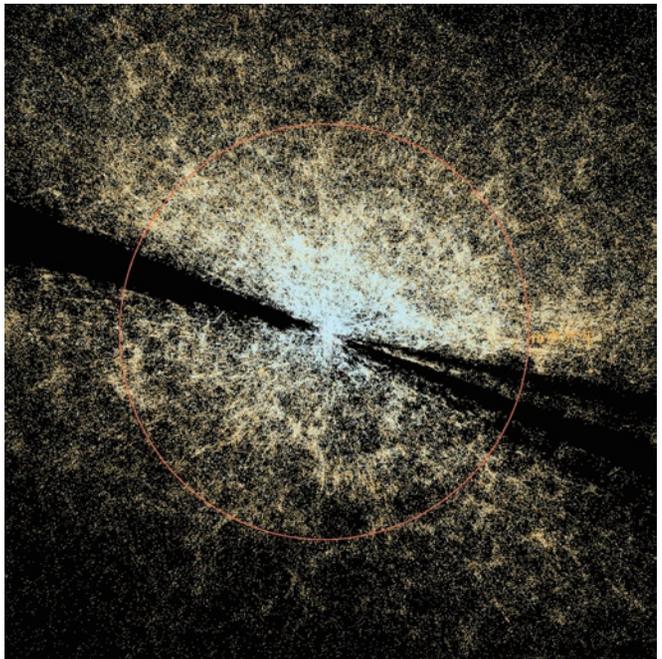


図-14 Mitaka で表示した宇宙の大規模構造
(Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)

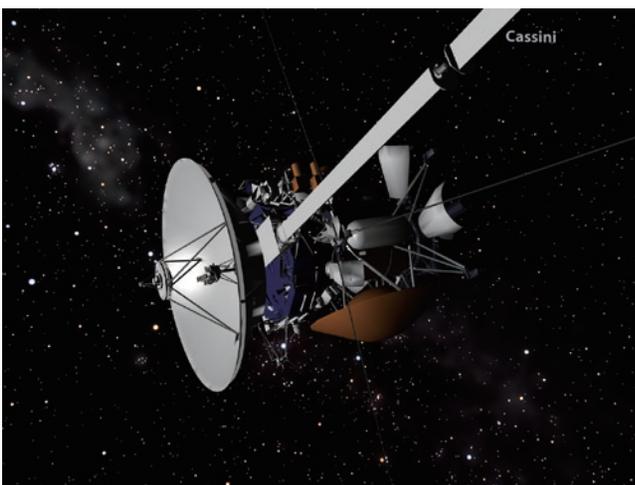


図-15 Mitaka で表示した遊泳中の人工衛星カッシーニ
(Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)



図-16 Mitaka で表示した火星表面
(Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)



図-17 Mitaka でリアルタイム表示した地球表面
(Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)



図-18 Mitaka でリアルタイム表示した銀河系全景
(Copyright © 2005 4D2U Project, NAOJ.)

が得られるようになった。特に宇宙映像においては、コントラストの高い深黒の表現が重要視され、そのため、よりダイナミックレンジに優れた映像データの生成が求められている。

さらに、出力としての表示装置のみならず、より大量のデータ、より詳細な解析結果を入力として用いることにより、さらに表現力が豊かになることが期待される。

今後、宇宙映像の制作において、常に新しい観測結果、解析結果が反映されていかなければならない。観測や解析のデータ量の増大とともに、新しい発見や理論によって、今までの映像表現が覆される状況も考えられる。そのときにはできるだけ素早い更新により、新しい映像表現として伝えられなければならない。

また、科学映像の可視化によって、新たな気づきや議論が発生し、研究課題にフィードバックされるという好循環も期待される。

さらに、宇宙映像は科学技術的、理論的に正しいことはもとより、アートの、デザイン的な観点から演出がなされていることも大切な要素である。さまざまなバックグラウンドを持つ観客が観たときに、映像として純粹に見て美しく、心地よい気持ちになり、感動を呼び起こせること、さらに観客の記憶に残ることを考えていくことが非常に大切な要素になっている。

宇宙映像の制作で培われた映像表現は、長大で無限大の宇宙から、逆に超精密なミクロの世界など極小の分子

表現などにも応用できると考えられている。宇宙映像のみならず、より広い分野の可視化手法としての確立が望まれる。

今後も科学技術計算と可視化技術の発達により、科学的に納得のできる正しい演出と、より豊かな、観客の心を揺さぶるような映像表現が求められる。

参考文献

- 1) 小久保英一郎, 林 満, 加藤恒彦, 武田隆顕, 観山正見, 海部宣男, 三浦 均, 高幣俊之: 4次元デジタル宇宙プロジェクト, 情報処理, Vol.45, No.12, pp.1229-1233 (Dec. 2004).
- 2) 小久保英一郎, 林 満, 加藤恒彦, 武田隆顕, 観山正見, 海部宣男, 三浦 均, 高幣俊之: 国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.8, No.4, pp.59-60 (2003).
- 3) GPGPU General-Purpose computation on GPUs: <http://www.gpgpu.org/>
- 4) 大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台: <http://www.nao.ac.jp/>
- 5) Mitaka: <http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>
- 6) Zindaiji: http://4d2u.nao.ac.jp/src_4d2u_dome/src/Zindaiji/
- 7) OpenNBR: <http://orihalcon.jp/projects/scientific-visualization/particle-renderers/opennbr.html>

(平成 20 年 3 月 17 日受付)

安藤 幸央

yukio-ando@exa-corp.co.jp

(株) エクサ (ユビキタス・PCMソリューション部所属)。国立天文台客員研究員。シーグラフ東京委員長。フォトリアリスティック3次元コンピュータグラフィックス、大規模3次元映像システムから、携帯電話アプリケーションまで、リアルタイムグラフィックスやネットワークを利用した各種開発業務に携わる。