

## 天文教材「パワーズオブテン」C.G.の制作と活用

Production and Practical Use of Astronomical Teaching Materials:  
“The Powers of Ten” Computer Graphics毛利 勝廣<sup>†\*</sup>, 鈴木 雅夫\*, 山本 晃裕\*\*, 安田 孝美\*\*\*

## 要旨

名古屋市科学館で行った特別展「宇宙展2000」の中で、10倍ずつ視野を広げながら宇宙の広さを実感する展示、「パワーズオブテン」を制作した。展示物の前から出発して宇宙の果てまでを一度に体験できるこの展示は、教育的に大変効果が高いが、その制作は困難で、1977年にアメリカで映画として制作されて以来、本格的な制作は行われてこなかった。今回はその後の最新の宇宙の知見や観測データに基づき、さらに3次元コンピューターグラフィックス(3DCG)を用いることにより、当時はアニメーションによる想像図として制作せざるを得なかった部分についても、科学的に可視化を行った。パネルと動画を組み合わせた展示は、この種の学習に対しては新しい方法であり、大きな教育効果を上げることが出来た。本論では、その範囲の広さから旧来のメディアでは教育が困難であった、宇宙の広さを学ぶための天文教材の開発手法と、科学館特別展での社会教育への利用を通して、その有効性および意義について検証する

Katsuhiko MOURI<sup>†\*</sup>, Masao SUZUKI\*,  
Akihiro YAMAMOTO\*\*, Takami YASUDA\*\*\*

## Abstract

In the special exhibition “Space and Universe 2000”, we produced the exhibition “The Powers of Ten” through which visitors can experience the extent of the universe. “The Powers of Ten” is a Computer Graphic system that shows the place where we are now until the edge of the universe. The system is very effective for education purposes but very complex to build. In fact, there were no further trials a similar system since the short movie produced in 1977 in the USA. At that time, they had no choice but to animate imaginary pictures in most parts of the movie.

This time, we produced a system based on the latest scientific data and knowledge of the universe acquired after that. We use 3-dimensional computer graphics to support scientific visualization. Furthermore the system provides a new method of the exhibition that join together panel exhibition and movie. Therefore we got good educational result.

In this study, we discuss the development of “The Power of Ten” system specially considering its educational purposes, and its validness and meaning through the special exhibition in our science museum.

## 1. はじめに

宇宙は我々が住んでいる世界そのものである。人類が意識を持って自分の周囲(宇宙)を観察するようになって以来、天文学というジャンルが発生した。そして自らの世界を知ろうという自然で知的な好奇心により我々の知識の及ぶ範囲、すな

† 名古屋大学人間情報学研究科  
Graduate School of Human Informatics, Nagoya University  
\* 名古屋市科学館  
Nagoya City Science Museum  
\*\* 富士通  
Fujitsu Limited  
\*\*\* 名古屋大学情報文化学部  
School of Informatics and Sciences, Nagoya University

わち我々の宇宙は広がってきた。特に20世紀に入ってから膨張宇宙の発見により、宇宙の無限、有限論議に事象の地平線という一つの解決が与えられ、さらに宇宙の始まりを物理学として扱うことができるようになったことで、我々の宇宙すなわち世界の大きさを、宗教的にではなく科学的な手法によって人々が感じることができるようになった。ついに科学が宇宙全体を扱うところまで大きくなったわけである。

こうして科学による宇宙論が扱えるようになるかなり前から、宇宙に関心を持つ人は大変多い。様々な宗教に必ずと言っていいほど世界（宇宙）始まりの記述があるのは、古代から人々の興味が宇宙全体に広がっていたことを示している。

一方、人々が科学的な知識を系統的に得る最大のメディアは学校教育である。しかし現在の学校教育ではこのような総合的な「宇宙」への理解を目指す内容がほとんど無いに等しい。

小学校では太陽や月、星の動きといういわゆる天動説の観点で「天球」を観察する。これはいわば「ギリシャ時代の宇宙観」である。中学校では太陽の周囲を回る地球という概念は出てくるが、星は「天球」に貼り付いたままである。これは「17世紀の宇宙観」にしか相当しない。さらに、宇宙ステーションの建設も進み、衛星放送や、気象衛星などという身近で生活に密着した「近くの宇宙」ですら扱われていない。もちろん指導要領を包括する形で必要な内容を教えようと、教育現場、教科書の制作など様々な領域で努力がなされているのではあるが、大枠では学校教育で形成される「宇宙」とは旧態然とした「古い宇宙」である。そういった「それだけの宇宙観」の教育しか受けていない世代が大人の大多数になろうとしている。

こうした「古い宇宙」しか教育されない理由は本来の「宇宙」が授業で教えるににくいということがあげられる。そこで優れた教材が必要になる。

一方、TVや雑誌などのメディアでは、最先端の宇宙像が紹介されているが、それが全体としての宇宙のどの部分に相当するかといった、教育的な観点が押さえられているかという点必ずしもそうではない。学校教育で必要な宇宙観を形成されずに大人になっていき、その間、メディアからは部

分的に最先端の宇宙像を与えられる。これではせっかく21世紀に生きていながらその科学的な成果を自分の宇宙観すなわち生きていく世界観に取り込んでいくとは不可能である。

そこで学校でもメディアでもない社会教育施設の重要性はますます高まっている。名古屋市科学館のプラネタリウムには、ここ数年では年間30万人の見学者があり、その6割以上が大人である。プラネタリウムでは自分がいるところから見た宇宙すなわち星空と、さまざまな天文の話題を結びつけて総合的に紹介している。それは他のどこでも得ることのできない総合的な「宇宙観」に基づいた貴重な体験になるのである。

宇宙は時間と空間の2軸からできている。本論ではその宇宙の空間軸すなわち広がりについての教材を扱う。メートルオーダーから100億光年オーダーにまで広がる宇宙の広さを表す手法として、その長さをリニアではなく対数で表す方法が一般的である。10のべき乗でその広さを表していく「パワーズ オブ テン」は著名な手法の一つで、1977年に制作された短編映画は今もさまざま方面で活用されている。しかしその後の天文学の進歩により、天文教材としての有効性は下がってきており、現代の最先端の知見を基にした現代の「パワーズ オブ テン」が望まれていた。そこで我々の持つ科学的な可視化の技術を用いて、それを制作したのである。

名古屋市科学館では、プラネタリウムや常設展示の他に特別展を年に数回開催している。2000年春の特別展は「宇宙展2000」<sup>[1]</sup>と題し、宇宙ステーションや人工衛星の活躍する身近な宇宙から、ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡でやっと見通せるような遠くの宇宙までを扱った。世界第3位の巨大鉄隕石や宇宙空間で観測をして回収された赤外線望遠鏡の実物など、特別展でしか展示できない貴重な展示物に加えて、宇宙開発の歴史をビデオオンデマンドで自由に見られるコーナー<sup>[2]</sup>や、直径4mの巨大な月面の上を自由に散歩できるコーナーなど今回の特別展のためにオリジナルの展示を多数制作した。

この特別展で目指したのが、宇宙全体の「時間の流れ」と「空間の広がり」の理解であった。そ

のうち「時間の流れ」への理解は、プラネタリウムのプログラム「宇宙カレンダー」で行った。これはビッグバンから始まり現在に至る時間の流れを特殊効果映像と、その130億年を1年間としたカレンダーで構成するオリジナルプログラムである。そして展示コーナーの最初に「パワーズオブテン」を展示し、宇宙の果てまでの空間の広さを一度に体験できるようにした。その後展開される展示も近くから遠くへ順に配置され、最後に同じ「パワーズオブテン」をもう一度、遠くから近くへ逆順に展示して、現実に戻るといふ展示演出を行った。

このような展示手法により、見学者は自分のテンポで宇宙の様々なスケールを行き来することができる。自分の知っている世界と未知のスケールを行き来しながら学習する。パネルの前で会話が広がる。そしてそれを集大成する大迫力の動画で再学習する。この特別展において、我々はこのような教材の有効性を検証することができた。

## 2. 「パワーズオブテン」とは

1977年にチャールズ・イームズとレイ・イーム

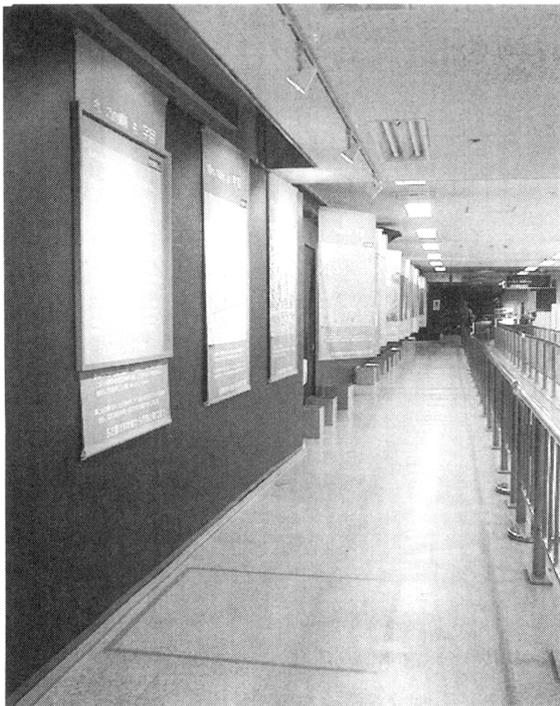


図1 パネル展示

ズによって「Powers of Ten」 about the Relative Size of Things in the Universeという9分弱の短編映画が制作された。本としても出版され、日本語訳もなされている [3]。

ここで行われているのは宇宙の大きさを理解するために、「パワーズオブテン」すなわち10のべき乗ごとに視野を広げたり狭めたりして見ていき、それぞれの広さでの宇宙の内容を観察する手法である。これ自体は同時代のアイザック・アシモフによる書籍「宇宙の測り方」[4]でも採用されている科学教育においては一般的な手法である。

自分のいるところから、いわゆる宇宙の果て（宇宙の地平線）までは130億光年の奥行きがあり、これは $1.3 \times 10^{26} \text{m}$ になる。人間一人のメートルの世界と宇宙の果てを比較すると $10^{26}$ 乗倍もの違いがあり、指数でないと表現しきれない。指数はけた違いの大きさを表すのに便利な反面、日常感覚から離れてしまう。「Powers of Ten」のすばらしさは、それをわかりやすい映像の形で可視化したところにある。自分たちがよく知っている身近な世界から出発し、10倍ずつの感覚を映像的につかみながら、知らない世界へ入っていき、その広さや大きさを知る。現在では映画の他に書籍、フリップブック、CD-ROMによるインタラクティブ版も制作されている [5]。

そこで我々は「Powers of Ten」で行われた手法を元にし、現時点での最新の科学データに基づく科学的な可視化を試みた。1977年時点での我々の宇宙の把握は、距離にして10倍以上。まさに「パ

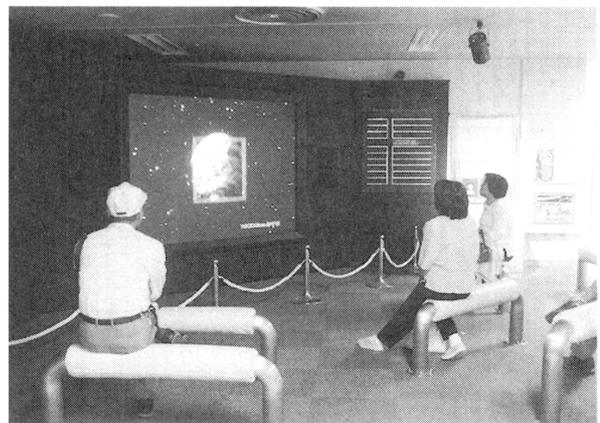


図2 動画展示

ワーズ オブ テン」では2ステップもの差がある。さらに当時はイメージとして描かざるを得なかった恒星間空間や銀河群、銀河団も現在では科学的な観測による位置や明るさのデータがあり科学的にその姿、分布を描き出すことができる。そして当時は全く知られていなかった宇宙の大規模構造(泡構造, 1985年発見)も、現在のデータで当然のごとく可視化できる。

我々はこのような難しいテーマを映像化しようとし、美しい作品に仕上げた先達の偉大な仕事に敬意を表しながら、当時はなしえなかった科学的な可視化を、科学教育の観点から試みたのである。

また、異なるアプローチとして、日本では(澤, 1995) [6] により、インタラクティブなパソコンソフトとして天文教育に活用されている。こちらは大学などの教育現場での授業で活用しやすいように、映像よりも授業中のインタラクティブ性に重点をおいた優秀なソフトウェアである。作者の沢教授には、本研究においても制作の各段階で有益なアドバイスをいただいている。

なお、今回は「宇宙」の展示および教育が筆者らの目的であるので、オリジナルの「Powers of Ten」にある1m以下のミクロの世界への旅は割愛した。

### 3. 総合的な展示手法

名古屋発「パワーズ オブ テン」では、見る人が特別展会場のその場所にいるということを活かし



図3 最終展示

て、科学館の展示室から宇宙の果てまで行って戻って来るという流れにし、パネル展示と動画による2種類の展示を行った [7]。

パネル展示は、特別展の入り口の場所を「パワーズ オブ テン」への旅の出発点とし、そこから27枚のパネルを順に見ていくようにした。パネルは横1.1m、縦1.7mのサイズの防災布で制作し、見学者の進行方向に傾けて並べ、順々に宇宙の旅をして進んでいく演出をした。

動画展示は、映像的に効果的な動画の教育効果をさらに高めるため、まずパネルで内容を把握した後に、100インチの大型スクリーンをレイアウトして、約4分の動画を投影した。最初の頃は音楽とテロップだけで動画を見せていたが、学芸員による解説音声と同時に流したところ見学者の注目度が高まった。

さらに特別展出口直前のコーナーに、全体を一望できるように各パネルを小型化したものをおいた。最初とは逆順に、すなわち宇宙の果てから現在の場所へという順番に展示した。特別展を見終わって、その「宇宙」から現実に帰ってくる演出である。

### 4. パネル展示の制作手法

パネルは1mから $10^{27}$ mの宇宙までの27枚になった。制作環境は、Apple社PowerMacintosh G3, 384Mメモリ, 20G+9GディスクのPCで制作し、Epson社PM9000Cプリンターで、布やパネルに出力した。ソフトウェアは主にPhotoshop5.0とIllustrator8.0を用いた。それぞれの宇宙を表現した四角い枠を一辺10000pixelで制作し、保存状態で200~300Mbyteの画像になった。

また、「パワーズ オブ テン」では名古屋から宇宙の果てまでを常に最初の一点を凝視しながら視点を後退させる。各領域で教育的にわかりやすい映像を得るため、視点後退方向は重要である。試行錯誤の結果、最初の一点が名古屋の場合、2000年8月6日の世界時9時の位置から垂直に後退させると、月の軌道や太陽系の外観、ケンタウルス $\alpha$ 星の視野への入り方、銀河面との角度など様々な要求を満たすことがわかった。

(1) 1m~10m ( $10^0\sim 10^1\text{m}$ )

1mは木製の一边1mの四角い枠を制作しパネルに一体化した。また足下にも一边1m四角をテープで描き出発点とした。10mは具体物として巨大鉄隕石用の特設テントの大きさを示した。

(2) 100m~10km ( $10^2\sim 10^4\text{m}$ )

この範囲は航空写真の領域である。(財)名古屋都市センターが名古屋市全体の航空写真を当該センターの展示用に保有しており、そのデータをCDROMで提供していただいた。地図ソフトなどと照合し、必要な範囲を映像化した。

(3) 100km~1000km ( $10^5\sim 10^6\text{m}$ )

この範囲は人工衛星映像の領域である。資源探査衛星ランドサットの映像を入手し、必要な範囲を合成して制作した。

(4) 10000km ( $10^7\text{m}$ )

この範囲はほぼ地球全体の映像になる。今回必要な、上下左右とも日本(名古屋)を中心とした地球全体の映像は既存の物がなかった。必要なランドサット映像を購入し、画像処理をするためには、莫大な予算と労力が必要なため、Photoshop等でイメージ映像を制作した。

(5) 10万km~1000億km ( $10^8\sim 10^{14}\text{m}$ )

この範囲は太陽系の領域になる。市販の天文シミュレーションソフトにより下絵を制作した。使用したソフトはREDSHIFTVer3.0で、太陽系の任意の点から任意の画角で任意の方向を見た図を描画できる。また、後述のヒッパルコス星表を用いて描画でき、動画を出力することも出来るため選択した。得られた下絵を基に必要な解像度の映像をPhotoshop等で制作した。

(6) 1兆km~10光年 ( $10^{15}\sim 10^{17}\text{m}$ )

この範囲は太陽だけの世界であり、10光年で初めて最も近い恒星であるケンタウルス座 $\alpha$ 星が視野に入って来るのみである。そこで、前後とのつながりを考慮した上で、Photoshop等で映像を制作した。

(7) 100光年 ( $10^{18}\text{m}$ )

この範囲は太陽近傍の恒星の領域となる。近年、ヒッパルコス衛星の観測による300光年までの高精度な恒星位置が得られた<sup>[10]</sup>。そのデータを基に、グラフィックスワークステーションで3

次元C.G.を制作しそれを基に、必要な解像度の映像を制作した。さらに星の色もスペクトル型に応じて描画した。1977年のオリジナルには無い科学的な可視化シーンである。

(8) 1000光年 ( $10^{19}\text{m}$ )

この範囲になると、特殊な明るい恒星の距離しかデータが無く、さらにその測距方法も誤差を大きく含み今回のデータとして使用できる物がない。そこで、データのある300光年以内の3次元C.G.を参考にしながら制作した。この範囲で正確な距離が測られているのは散開星団のみである。プレアデス、ヒアデス、プレセペの3星団については、正確な位置に描画した。

(9) 1万光年~10万光年 ( $10^{20}\sim 10^{21}\text{m}$ )

この範囲では電波観測などによる銀河の腕の分布が観測されている。そこでTHE GUIDE TO THE GALAXY<sup>[10]</sup>を参考にしPhotoshop等でイメージ映像を制作した。

(10) 100万光年~1億光年 ( $10^{22}\sim 10^{24}\text{m}$ )

この範囲は銀河の世界である。1.4億光年内にある2367個の銀河を網羅したNearby Galaxies Catalogue<sup>[11]</sup>に基づいて、グラフィックスワークステーションで3次元C.G.を制作し、必要な解像度の映像を制作した。これもオリジナルに無い科学的可視化シーンである。

(11) 10億光年~100億光年 ( $10^{25}\sim 10^{26}\text{m}$ )

この範囲は宇宙の泡構造から宇宙の果てまでである。Las Campanas Redshift Survey<sup>[11]</sup>による30億光年内の12923個の銀河のプロットを参考にし、Photoshop等で映像を制作した。

(12) 1000億光年 ( $10^{27}\text{m}$ )

これは実際には有り得ない広さである。ビッグバン宇宙論に則り、現在の宇宙年齢を平均的な数値から求めると約130億年。すなわち自分のいるところから130億光年向こうまでしか見ることができない。その様子をその外から一度、すなわち全てを同時に眺めるような視点は実際には有り得ないことになる。しかしここでは「もしそれを見ることができたら」という観点でイメージ映像を制作した。

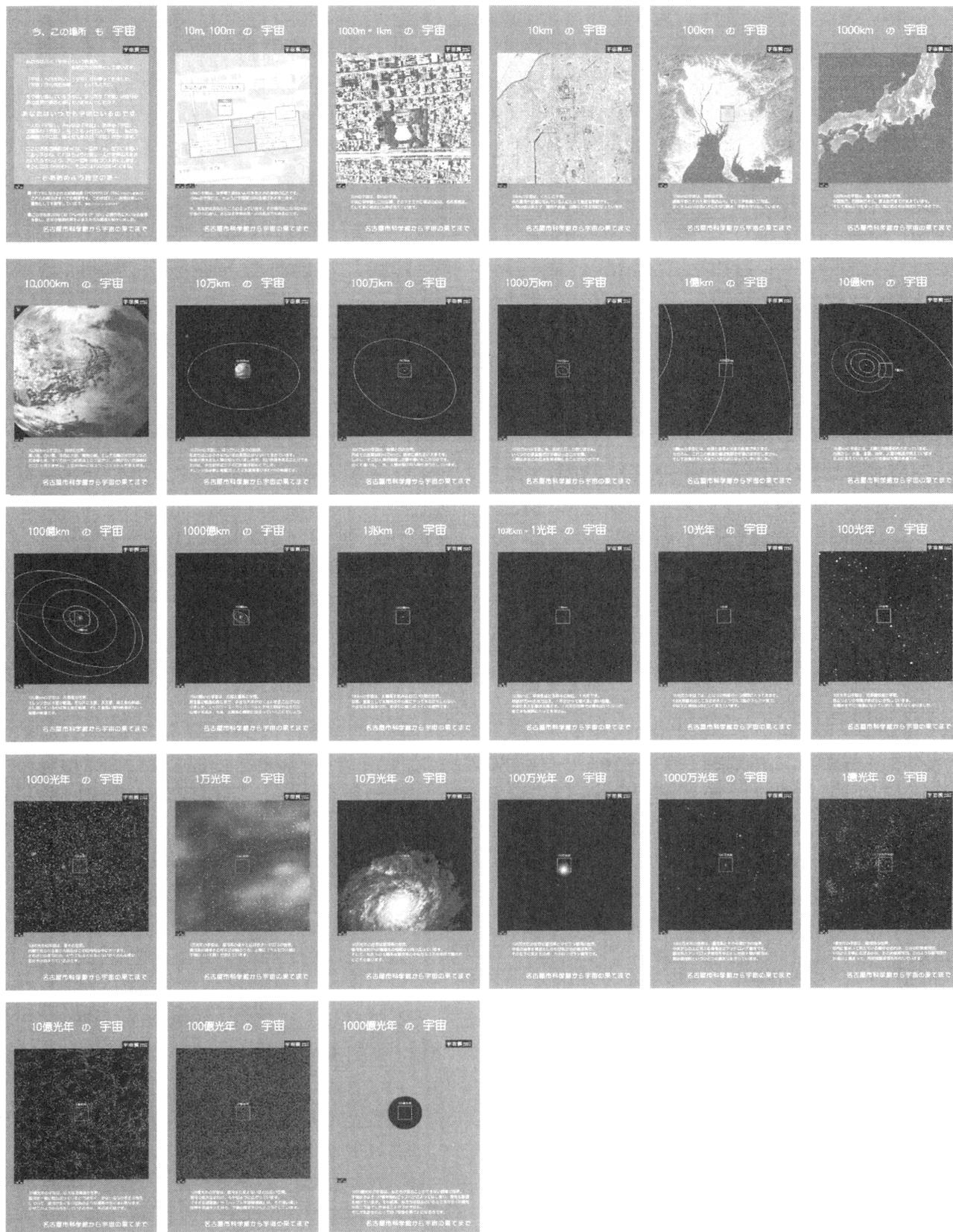


図4 制作した27枚のパネル

## 5. 動画の制作手法

動画の制作環境は4章のMacintoshに加えて、iMacDV, 192Mメモリ, 9Gディスクをビデオレンダリング作業用に用いた。ソフトウェアはAftereffect3.0, Photoshop5.0, iMovie, QuicktimePlayer, Media100 6.0等を用い、フルサイズフルモーションの動画映像を制作した。また3次元CGにはSGI社O2, 1Gメモリ, 18Gディスクのグラフィックスワークステーションを用い、C言語+OpenGLライブラリーの環境で開発した。

静止画は一枚一枚のクオリティを要求される代わりに、10倍毎に描画をすれば制作できるが、動画はその間を矛盾なく補間せねばならない。そこで、静止画ではPhotoshopによる映像で済んだところも3次元コンピューターグラフィックスを制作しないと表現できないところもあり、かなり独立した手法を用いざるを得なかった。

本CGでは5秒間で10倍ずつ視野を広げるようにした。その場合、視点の後退速度も5秒毎に10倍になる比率で加速していく。実際には月の軌道が見渡せる頃には、視点の後退速度は光速を越えてしまう。そこで動画のほとんどのシーンは体験不可能な世界であり、可視化する意義が高い。

### (1) 100m～1万km ( $10^2 \sim 10^7$ m)

この範囲は静止画用に10000pixel角の高精細映像があり、それをビデオ画面上で400pixelが目的の範囲になるように縮小して制作した。今回必要とされる動画は5秒で10倍もの視野を広げる。AfterEffect等の動画制作ソフトで視野外から中へ移動できる映像領域にはソフトの能力として限りがあり、結局はPhotoshop等の2次元画像処理ソフトを用いて、1秒毎に1枚ずつの映像を作り、AfterEffectで縮小合成し動画を制作した。

### (2) 10万km～1000億km ( $10^8 \sim 10^{14}$ m)

この範囲は4.5で述べたREDSHIFTVer3.0の機能を用いて制作した。各フレームでの視点の位置と方向、画角を入力し、得られたフレーム毎の画像を合成する処理である。

### (3) 1兆km～100光年 ( $10^{15} \sim 10^{18}$ m)

この範囲は太陽近傍の恒星の領域となる。4.7と同じくヒッパルコス星表のデータを基に、グ

ラフィックワークステーションで3次元CGを制作した。高速で遠ざかっていく視点から、視野内の全ての恒星の位置を計算し、明るさを変化させた上で、3次元CG化しているため、臨場感のある映像を得ることが出来た。

### (4) 1000光年～1億光年 ( $10^{19} \sim 10^{24}$ m)

この範囲は銀河の腕の中から銀河団までの広い領域をひとつの動画としてつなげていくために、いくつかのパートを合成して制作した。まず、300光年以遠の恒星については位置データがないため、乱数を用いて恒星を発生させ、それ以近の星との整合をとった。次に銀河モデルを用いて銀河の腕を表現した。腕としてうまく表現できる恒星数を選ぶと、それ以前は星の密度が低すぎてしまうため、連続的に恒星の密度を変えたり、遠くなった星を見えなくしたりして調整した。

視点が銀河の中から外へ移動するため、テクスチャーマッピングを銀河に適用することが出来ないため、螺旋状や回転楕円状の恒星分布を複数枚重ねて、渦巻き銀河の形を作り、その中を何度も視点移動させながら、最適なパラメータを決めていった。さらに近傍銀河を同様の方法で点の集合体として描画し、遠方の銀河については、ぼやけた点として描画した。視点からそれぞれの銀河までの距離を各フレーム毎に計算し、描画する大きさや明るさを変化させたのは、5.3の恒星と同様のルーチンを利用した。

### (5) 10億光年～1000億光年 ( $10^{25} \sim 10^{27}$ m)

この範囲は5.1と同じく、静止画用の10000pixel角の高精細映像から必要なだけ縮小した後、Photoshop等の2次元画像処理ソフトを用いて、10フレームおきに縮尺を変えた映像を作り、AfterEffectで合成して動画を制作した。

## 6. 「パワーズ オブ テン」の活用

この展示は2000年3月18日から5月14日まで、中日新聞社、中部日本放送、名古屋市科学館の共催で行った、名古屋市科学館特別展「宇宙展2000」の中で展示し、49日間で64,504人の見学者があった。宇宙の広さを実感できる展示として、見学者

からの反応も高く、また他の科学館などからの提供依頼も受けている。

「パワーズオブテン」は、この展示にだけに終わることなく、科学的な可視化技術を用いたユニークな総合的な天文教材として、その後も活用を続けている。

プラネタリウムでは、21世紀最初の番組である、2001年1月の一般投影「2001年時空の旅」で、プラネタリウムドーム内に約400インチの巨大映像として投影し、現在知られうる宇宙像の可視化映像として活用した。1ヶ月で約2万人の見学者があった。また、科学館の内外で行う講座、教室などでも多数の活用を行っている。さらに名古屋市科学館だけではなく、名古屋市美術館でも2001年度の「みんなのアート<メジャー>リーグ」という企画の中でこの「パワーズオブテン」が活用された。これから、アートとサイエンスはもっと融合すべきであり、その架け橋として、科学的かつ美しい映像はより重要性を増す。

また、いよいよ見え始めたブロードバンドのネットワーク環境においてもこのような教材は有効である。2000年秋から2001年まで中部電力が中心となって行っているFTTH（ファイバートゥーザホーム）プロジェクトでは、名古屋市瑞穂区に約1000軒のモニター家庭を設置し、ブロードバンド環境の活用について様々な実験を行った。その中で中学校の理科授業とプラネタリウムの連携授業を行った際、「パワーズオブテン」をその教材として活用し、ブロードバンド環境下で使用し、学校におけるデジタル教材としての有効性を示した[12]。静止画、動画で一つのコンセプトに基づいて制作された総合教材は、こうして様々な分野で有効活用できる。

天文分野においても世界には様々な研究機関があり、それぞれの研究成果をwebで公開している。しかしそれぞれはあくまで天文学の部分的な成果であり、個々のページを見ていると、一般市民や学習者は全体のイメージをつかむことはできない。そこでプラネタリウムのような教育施設の学芸員が、可視化の技術や実践を行っている研究者とともに、個々の天文研究者では不可能な総合的見地からの教材を制作し、活用することは大いに意義

有ることと考える。

制作に当たっては、社会教育の専門家とコンピュータグラフィックスの専門家と天文学の専門家とのそれぞれの専門性を活かしたコラボレーションが重要であった。筆者らは1993年からこのようなコラボレーションによる天文教材の制作を続けており、今回の映像はその2作目にあたる[13][14][15][16]。

このような試みは海外からも注目されている。筆者らが行ってきたコラボレーションによる可視化を、2001年3月にシアトルで行われた学会、*Museum and the Web 2001* [15] で発表したところ、2001年5月に香港で行われた *Tenth International World Wide Web Conference* [16] にパネラーとして招かれる栄誉を得た。

## 7. さいごに（考察）

本論文では、宇宙の広さを静止画によるパネル群と3D C.G.による動画で理解させる天文教材の開発方法と、実際の特別展や学校での授業における利用について述べ、開発した教材の有効性と意義を明らかにした。

天文に限らず、細分化された現在の科学の中で、それを一つの観点で統一にとらえ、科学的に可視化をすること。そしてそれを印象的で美しい映像にまとめ、様々な分野で活用できるようにすることは、大いに意義ある学芸および研究活動であろう。

この観点で、宇宙全体の広さを学ぶための教材を開発することは意義深いことである。またその教材を単なるアニメーションによる想像画ではなく、手に入る限りの科学的なデータに基づく可視化によって作り上げることは、科学教育の手法としての正道であり、本物の持つ魅力としても教育効果が高い。そこでは3D C.G.の技術や行き来できるパネルと動画の複合展示といった制作および展示手法が有効であった。さらに科学的な本物は、単に科学的に正しいとかだけではなく、いわゆる美しさを持つものである。これは本教材が美術館での活用され、科学だけでなくアートの分野に踏み出していることから示されている。

さらにデジタル技術を用いてこのようなコンテンツを作ることによって、制作した教材を一度限りではなく、後日もさまざまな形で活用していくことができる。まもなくブロードバンド環境が一般化するが、その折にはこの動画を教育現場で活用できるようになる。そのために、一つ一つの教材を最新のデータや最適な技術を使って、クオリティに高い作品に仕上げることが重要である。良いコンテンツは長きにわたって様々な活用ができる。本論でも展示パネルと動画、プラネタリウム、ブロードバンド環境での活用を検証した。今後もこのような天文教材を開発し教育活動に活かしていきたい。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、多くの方々にお世話になった。この場で感謝の意を表す。

名古屋市科学館企画調査委員の愛知教育大学の沢武文教授には、様々な天文学データとプログラムの提供をいただいた。同じく名古屋市科学館企画調査委員の山田卓氏には、本研究を始めるきっかけを与えていただき、制作の過程で多くの貴重な指導をいただいた。名古屋市科学館の北原政子天文主幹と野田学芸員には多くのアドバイスをいただき、制作に関わっていただいた。また中日新聞社、中部日本放送をはじめ「宇宙展2000」の関係者の皆様には制作の過程でお世話になった。

なお、本研究の一部は、財団法人堀情報科学振興財団及び財団法人東海産業技術振興財団の助成による。

### 参考文献

- [1] 「宇宙展2000」Web ページ, <http://www.ncsm.city.nagoya.jp/2000>
- [2] 杉山公弥子, 安田孝美, 横井茂樹, ミュージアム・オン・デマンドの提案と試作, 信学技報 Vol.100, No.113, pp.17-24
- [3] フィリップ・モリソン他, 「パワーズ オブ テン」, 村上陽一郎他訳, 日経サイエンス社, 1983
- [4] アイザック・アシモフ, 宇宙の測り方, 金子務・古川博訳, 河出書房新社, 1991
- [5] 「Powers of Ten」Web ページ, <http://www.powersoften.com>
- [6] 沢武文, パソコンを使った現代天文学入門 “Power’s of Ten” 第9回天文教育研究会集録, 天文教育普及研究会, p.153-158, 1995
- [7] 毛利勝廣, 鈴木雅夫, 山本晃裕, 安田孝美, 横井茂樹: 名古屋発パワーズオブテン C.G.の制作と活用, 教育システム情報学会マルチメディア教材部会, 2000.7.22, 名古屋市立大学
- [8] The Hipparcos and Tycho Catalogues, European Space Agency, 1998, CD-ROM
- [9] Nigel Henbest & Heather Couper, THE GUIDE TO THE GALAXY, Cambridge University press, 1994
- [10] Nearby Galaxies Catalogue (NBG) (Tully 1988) <http://vizier.nao.ac.jp/viz-bin/VizieR?source=VII/145/catalog>
- [11] Las Campanas Redshift Survey (LCRS) (Shectman et al. 1996), <http://manaslu.astro.utoronto.ca/~lin/lcrs.html>
- [12] 杉山公弥子, 安田孝美, 横井茂樹, 「中学校—ミュージアム」連携による高速通信回線を利用した天体教育の実践と評価, 情報処理学会, コンピュータと教育, 2001.5.12, pp.33-40
- [13] 毛利勝廣, 鈴木雅夫, 安田孝美, 横井茂樹: 天文教育におけるコラボレーションによる3次元 C.G.教材の制作と活用, 教育システム情報学会誌 Vol.17, No.3, 2000, 秋, pp.425-434
- [14] Katsuhiko Mouri, Masao Suzuki, Manabu Noda, Takami Yasuda, Shigeki Yokoi : Production and Practical Use of teaching Materials Based on 3-dimensional Computer-graphics Technology with Collaborations in Education of Astronomy, International Workshop on Advanced Image Technology, 2000.1.13-14
- [15] Katsuhiko Mouri, Masao Suzuki, Manabu Noda, Takami Yasuda, Shigeki Yokoi: Production and Practical use of Astronomical 3D CG on the Web and Planetarium, Museum and the Web 2001, 2001.3.15-17 seattle USA
- [16] Katsuhiko Mouri, Masako Kitahara, Masao Suzuki, Manabu Noda, Takami Yasuda, Shigeki Yokoi: Science visualization on the web and the

planetarium, Tenth International World Wide Web Conference (Culture track panelist), 2001.5.1-5 Hong kong China

2001年6月16日受理

2001年10月9日採録



毛利 勝廣 (もうり かつひろ)

昭和63年, 名古屋大学大学院理学研究科博士前期課程(地球科学)修了。同年, (株)NTT(後にNTTDATA)入社。平成2年, 名古屋市科学館学芸員として採用, プラネタリウムの企画, 解説, 各種天文事業の企画運営に携わり, 現在に至る。名古屋大学大学院人間情報学研究科博士後期課程で, デジタル技術を応用した天文教材の制作やデジタルミュージアム, オンライン教育に関する研究を行っている。



鈴木 雅夫 (すずき まさお)

昭和63年, 愛知教育大学宇宙物理領域修士課程修了。同年, ニュージーランドの日本人学校教諭として採用。平成2年, 名古屋市科学館学芸員として採用, プラネタリウムの企画, 解説, 各種天文事業の企画運営に携わり, 現在に至る。デジタル技術を応用した天文教材の制作や, 彗星物理や銀河の形成, 市街地の光害等の研究を行っている。



山本 晃裕 (やまもと あきひろ)

平成12年, 名古屋大学大学院人間情報学研究科修士課程(物質生命情報学)修了。同年, 富士通(株)入社。EDIサービスの運用業務に携わり, 現在に至る。拡大が予想されるB2B市場で新しいビジネスモデルの立案及びシステムの開発・運用業務全般に従事している。



安田 孝美 (やすだ たかみ)

昭和62年, 名古屋大学大学院博士後期課程(情報工学)修了。同年, 同大学助手。平成5年同大学情報文化学部助教授となり, 現在に至る。この間, 昭和61年, 日本学術振興会特別研究員。インターネットに代表される情報通信ネットワークにおける新技術の調査研究と, それらがもたらす新しい社会の在り方について教育, 文化, 経済など多方面から調査研究を行っている。具体的なテーマとして, オンラインデジタルミュージアム, JavaエージェントおよびXMLを活用した新たなオンライン教育, VRMLによる3次元サイバースペースにおける人のアクションに関する研究, などがある。