

## 神の掌の宇宙—宇宙の立体模型—

田島由起子\*, 三分一清隆\*\*, 船越美智世+, 福江 純\*, 横尾 武夫\*

<\*大阪教育大学天文学研究室 〒582 大阪府柏原市旭ヶ丘4-698-1>

e-mail: fukue@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

<\*\*京都大学理学部宇宙物理学教室 〒606 京都市左京区北白川追分町>

<+伊丹市立こども文化科学館 〒664 兵庫県伊丹市西桑津字前154-11>

CD-ROM で配布されている CfA 銀河カタログの座標データを用いて、宇宙における銀河の分布の立体模型を製作した。超銀河団やポイドのような宇宙の大規模構造が一目瞭然であり、また掌に載せて好きな方向から見る事ができるので、ディスプレイの2次元画像とは違った趣きがある。このような立体模型は、星や星団の分布などにも容易に転用できる。学校教育や社会教育など、教育現場などでの利用価値も高いと思われる。

### 1. 動 機

パソコンを利用した大学実習の実例および天文教育用教材の一例として、最近出回っている CD-ROM データを用いて製作した天体の分布の立体模型の紹介をしたい(酒造他 1994 年参照)。

もともとは、筆者の一人(MF)が、卒業研究で、CfA カタログを用いて銀河のパーコレーション解析を行った際に、銀河分布に対する理解の一助として、簡単な立体模型を作成した(船越他 1991 年)。同じコンセプトで製作されたモデルが、1992 年の春に大阪学院大学で開催された天文学会の折り、天文教育普及研究会と日本天文学会が共催で実施した天文教具展で展示されたので(尾久土他 1993 年)、覚えておられる方も少なくないだろう(かの池内さんが熱心にみていたという関係者の証言や証拠写真が残っているらしい)。さらに今回は、筆者の一人(YT)が、3 年生対象の地学実験のテーマに取り上げて製作したものである。

銀河など天体の 3 次元分布を視覚化することは、きわめて印象的なもので、いままでも天文学演習書の題材などにも取り上げているが(横尾 1993 年)、その方法については案外まだ知られて

いないようである。数年前に比べて、リリースされたデータも増え、また CD-ROM などもわりと普及してきたので、本稿で紹介することにした。

### 2. データと若干の変換

ここでは利用した CD-ROM データとその変換について、簡単にまとめておく。データに関しては、基本的に 3 次元データであればなんでも可である。

#### 2.1 データ

NASA の天文データセンター(ADC)は、天文データを CD-ROM の形で配布し始めている(詳しくは、例えば、岡本他 1992 年)。1991 年には 114 種の天体カタログを 2 枚の CD-ROM に納めた第 1 巻“Selected Astronomical Catalogs, Volume I”をリリースした(詳しくは、酒造他 1994 年)。

今回の例で用いたのは、

¥NONSTELLYGALAXIES

というディレクトリに入っている

REDSHIFT

というファイルで、これはハーバード・スミソニアン天体物理学センター(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics; CfA)でまとめた銀河の

赤方偏移のカタログ、いわゆる CfA カタログである。この REDSHIFT には、約 40000 個の銀河について、銀河の名前、赤経・赤緯、B 等級、日心後退速度、銀河のタイプ、光度階級、などのデータが格納されている。

立体模型を製作するために必要なデータは、(地球を中心とした) 3 次元空間における銀河の座標である。それを得るために、この REDSHIFT のファイルから、(方向を表す) 赤経・赤緯と(距離を表す) 後退速度のデータを切り出して用いた。

## 2.2 座標変換

方向と距離のデータを、扱いやすいように、3 次元直角座標に変換しておく。

### ①後退速度から距離へ

$$(\alpha, \delta, z) \rightarrow (\alpha, \delta, r)$$

まずハッブルの法則を用いて、後退速度  $v$  を距離  $r$  に変換する：

$$r = v/H \quad (1)$$

このときハッブル定数は、

$$H = 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (2)$$

とした。

### ②赤道座標・距離から 3 次元直角座標へ

$$(\alpha, \delta, r) \rightarrow (x, y, z)$$

赤道座標  $(\alpha, \delta)$  と距離  $r$  を、春分点の方向を  $x$  軸とし天の北極を  $z$  軸(天の赤道を  $xy$  平面)とする直角座標  $(x, y, z)$  に変換する(原点は地球)：

$$x = r \cos \delta \cos \alpha \quad (3a)$$

$$y = r \cos \delta \sin \alpha \quad (3b)$$

$$z = r \sin \delta \quad (3c)$$

### ②'銀河座標を用いる

$$(\alpha, \delta, r) \rightarrow (l, b, r) \rightarrow (x', y', z')$$

場合によっては(後述)、赤道座標  $(\alpha, \delta)$  を銀河座標  $(l, b)$  に変換する：

$$\sin b = \sin \delta \cos I - \cos \delta \sin I \sin(\alpha - \alpha_N) \quad (4a)$$

$$\cos b \sin(l - l_N) = \sin \delta \sin I + \cos \delta \cos I \sin(\alpha - \alpha_N) \quad (4b)$$

$$\cos b \cos(l - l_N) = \cos \delta \cos(\alpha - \alpha_N) \quad (4c)$$

ここで、 $I$  は銀河面と赤道面のなす角：

$$I = 62.9^\circ \quad (5)$$

で、また  $\alpha_N, l_N$  は、銀河面と天の赤道の交点  $N$  の赤経と銀経：

$$\alpha_N = 18^{\text{h}}51.4^{\text{m}} \quad (6a)$$

$$l_N = 32.9^\circ \quad (6b)$$

である。

さらに、銀河座標  $(l, b)$  と距離  $r$  を、銀河中心方向を  $x'$  軸とし銀河の北極方向を  $z'$  軸とする直角座標  $(x', y', z')$  に変換する：

$$x' = r \cos b \cos l \quad (7a)$$

$$y' = r \cos b \sin l \quad (7b)$$

$$z' = r \sin b \quad (7c)$$

以上のような座標変換したファイルを(ここまではハードディスク内で)作成しておく。

## 3. 製作

立体模型の基本原理は、空間内である方向に垂直な平面で適当にスライスしたデータを、OHP にコピーし、それを積み重ねるものである(写真参照)。このような手法は、地震の震源分布を立体的に表す方法として、1989 年の地学教育研究大会で近藤直門氏が提案している。また一方、天文学でも、天体の空間分布の立体模型として使える有効な方法である。

材料・方法ともにいろいろな方法があるが(後述)、ここでは細い角材を使った再利用可能枠の制作方法を述べる。

### 3.1 必要な材料

模型の大きさによって材料のサイズも多少変わるが、今回は以下のものを使用した。

OHP シート：透明度の高いもの

厚紙：厚さ 0.5 mm 程度

角材：8 mm

L 字型角材：16 mm

両面テープ：幅 12 mm 程度

釘：16 mm 程度

木工用ボンド

アクリル板：厚さ 0.1 mm

トレーシングペーパー：厚手のもの

手先の器用さ：あった方がよい

どれも市販されているものである。角材やアクリル板は Loft や東急ハンズ、ホームセンターなどの DIY (Do It Yourself) ショップや画材店で入手でき、その他は普通のスーパーや文房具店で簡単に手に入れることができる。

### 3.2 OHP シートを作る

#### ① OHP シートにスライスデータをコピーする

データを適当にスライスして OHP シートにコピーする。今回は、直角座標の  $z$  方向に 6 Mpc おきにスライスして、その範囲のデータをプリンタでハードコピーをとった(図 1)。このときハード

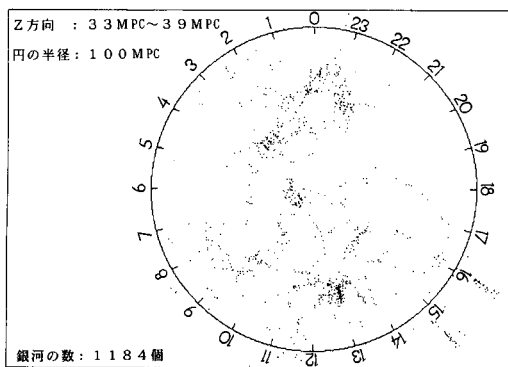


図 1 (a)

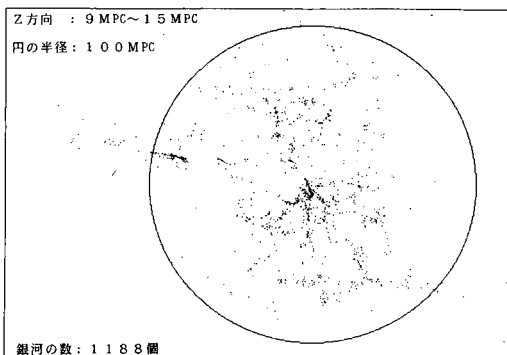


図 1 (b)

コピーそのものにデータのスケールやデータ数、シートナンバー (シートの順序を表す番号) などを入れておくと、後で便利である。そしてそのハードコピーを OHP シートにコピーする。

OHP シートを重ねて観れる枚数は、その透明度から 10 枚程度が限度である。また 1 枚のシートにプロットするデータの厚みが大きいと、シートを重ねて見ても立体感がでにくいので、スライスの仕方に注意する必要がある。

#### ② 補強のため OHP シートに縁をつける

OHP シートを適当な大きさに切りそろえ、それより少し大きめの厚紙を用意する。厚紙を縁 2 cm くらいを残してくり抜き、その厚紙 2 枚で OHP シートを挟み、両面テープで貼り付ける。

この作業は少々面倒であるが、この縁があると枠に差し込み易く、また差し込んだときに OHP シートがたるまず、そのまま長時間置いておくこともできる。

(できあがりについては、図 2 参照)。

### 3.3 枠を作る

外枠は OHP シートを固定するものであるが、完全に固定してしまえばその利用度は低い。そこでここでは大きめの合った OHP シート (とくにシートの間隔に注意) さえ用意すれば、どんな天体の 3 次元空間分布も観ることのできる再利用可能枠を製作した。シートは外枠の上側から抜き差しできる。

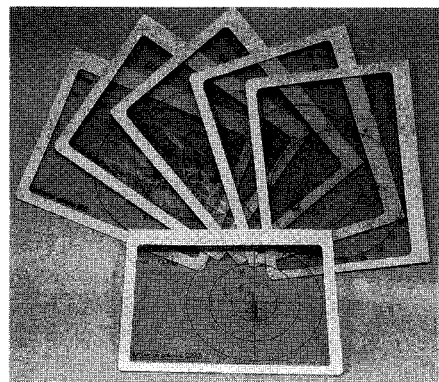


図 2

①外枠を作る

L字型角材を使って、一番外側の枠組みを作る(ただし上側の底面は普通の角材を使用)。

この時、OHPシートの間隔(奥行き)が、シート面にプロットしたデータとおなじスケールになるよう、枠の大きさに注意する(シートの間隔は1cm強ぐらいがよい)。

②仕切を作る

シートとシートの間隙にあたる場所に、角材を貼る。仕切は四方ともあった方が、シートがより安定する。

③アクリル板を貼る

左右の側面と底の面に、大きさに合わせて切ったアクリル板を貼る(両面テープを使うと良い)。これによってOHPシートの出し入れが容易になる(外枠は図3を参照)。

3.4 完 成

後は、シートを差し込むだけで完成である(図

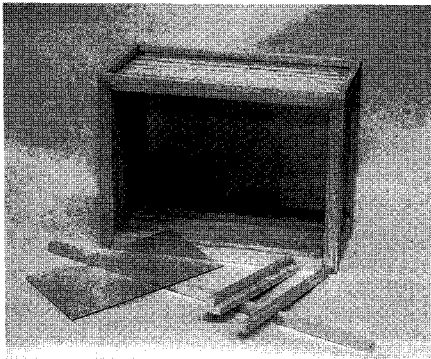


図3

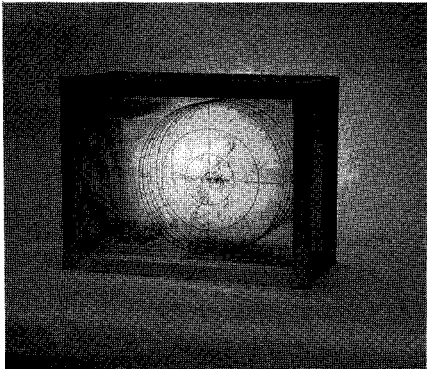


図4

4参照)。できあがった模型をより立体的に見せるためには、後方から光を当てると効果的である。その光をやわらげるため、またデータとバックのコントラストを一定にするため、厚手のトレーシングペーパーを模型の後ろ側に貼るとよい(一番後ろのOHPシートと一緒に差し込むだけでも十分である)。

4. 議 論

以下、製作過程で気づいた点をいくつか述べておきたい。

赤方偏移空間

REDSHIFT ファイルには、個々の銀河までの距離ではなく、後退速度が納められているので、そのデータから(1)式によって距離を求めた。しかしその後退速度には個々の銀河の固有運動が含まれているため、正しい距離とはいえない。とくに銀河団などでは銀河団内での銀河の固有運動の影響が、銀河がシート上で動径方向に伸びて並ぶ、という形で顕著に現れる(図1)。このような銀河団における分布の変形をなくし、より正しい立体分布を得るためには、固有運動の補正が必要である。

天球座標による違い

赤経・赤緯による赤道座標を用いた場合、観測データがないため空白になった銀河面がシートの積層面を斜めに横切るのので、銀河面がわかりやすい。一方、銀河座標を用いれば、銀河の北半球と南半球にわけて作ることができるので、より広範囲の観察をすることができる。

他の天体への応用

今回は実習時間の関係でつくらななかったが、同じ手法で近傍星の立体模型を作ることは簡単である。また球状星団の立体模型も容易につくれる(ただし球状星団の場合、明るいもののデータのみで作成しないと、銀河系中心のまわりの分布がうまく出ない)。

## 製作材料について

一番最初の模型はボール紙で製作した(船越他 1991年)。ボール紙のような紙製は、製作は容易だが、脆く、また小さなものしか作れない。一方、ベニヤ板製は、構造は頑丈だが、製作にかなり手間がかかることが指摘されている(尾久土他 1993年)。

今回の角材は、多少手間はかかるものの、軽くて丈夫だし、また OHP シートさえ作れば枠は何度も利用できる点で、よかったといえるのではないだろうか。

## アクリル板について

OHP シートの代わりにアクリル板を用いると、ボール紙の縁をつけなくてもたわまないし、また綺麗で印象的な仕上がりになる。しかも、アクリル板には、表面に傷を付け、側面から光をあてるとその傷が光を散乱して光る、という特性がある。そこで、完成した立体模型(星座盤でもよい)に側面から光を当てると、星などが光ってとても幻想的な眺めになる(図5)。ただしアクリル板に傷をつけて製作するのはかなりの根気を要するので、各星座の星や、立体模型では近傍星などデータの少ない(数百程度が限界)場合のみ、実行可能であろう。

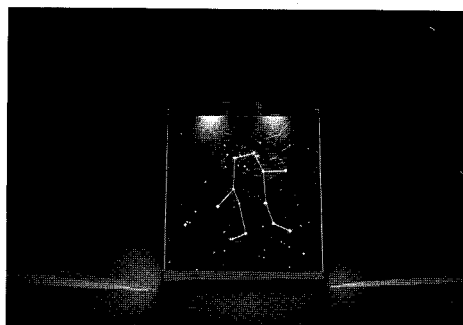


図5

## おわりに

パソコンという魔法の箱を用いることによって、大量のデータの高速数値計算や画像処理など、

従来は思いもよらなかったことが容易にできる世の中になった(CG, GAME, MIDI, NETWORK, WP……)。もっとも教育現場では、パソコンを自在に使える人がまだまだ少ないこと(もう一世代かかるかな)や使いやすいソフトがほとんどないことなどから、魔法の箱がタダの箱になっている場合も、ままある。だれでも使える天文教育用ソフトの開発や、パソコンを利用した天文教育用教材の製作は、現在の急務であろう。

## 参考文献

- 酒造晃子, 高橋 敦, 三分一清隆, 福江 純, 横尾武夫, 1994, 天文月報, 87, 9  
 船越美智世, 福江 純, 岡田理佳, 梅村雅之, 横尾武夫, 1991, 大阪教育大学紀要, 40(1), 47  
 尾久土正己, 石田俊人, 時政典孝, 佐藤隆夫, 黒田武彦, 1993, 天文教具, 28  
 横尾武夫編, 1993, 新・宇宙を解く(恒星社厚生閣), 58 節  
 岡本千勢, 福江 純, 三分一清隆, 横尾武夫, 梅村雅之, 1992, 大阪教育大学紀要, 41(1), 9

## The Universe from the God's Eye

Yukiko Tajima\*, Kiyotaka Sanbuichi\*\*, Michiyo Funakosi\*, Jun Fukue\*, and Takeo Yokoo\*

\*Astronomical Institute, Osaka Kyoiku University, Kashiwara, Osaka 543

\*\*Department of Astronomy, Faculty of Science, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606

\*Itami City Culture and Science Museum for Children, Itami 664

Abstract: We made a 3-dimensional model of the distribution of galaxies, using "Selected Astronomical Catalogs Vol. I", which is distributed in the form of a CD-ROM by NASA. It can be clearly seen the large scale structure of the universe such as super-clusters of galaxies, voids, and so on. It is much interesting to look down the universe on the God's hand. Such a 3-dimensional model can put to use distributions of stars and star clusters. So it is useful in the classroom and at public education.