

# プラネタリウム技術の系統化調査

1

Systemized Survey on Planetarium Technology

児玉 光義 Mitsuyoshi Kodama

## ■ 要旨

古代の人々にとって天体の運行は理解が難しい現象であった。彼等は、それを理解するため天球儀とオラリイ（太陽系運動儀）を作った。しかし、それらは宇宙の外側から眺めた模型で、直感的に理解するのが難しかった。

1923年になって、ドイツのカール・ツァイス社が、天球の中から天体の運動を眺めるという画期的な装置を発明した。投影式プラネタリウムの誕生である。

このツァイスのプラネタリウムは、早速日本にも輸入され、1937年に大阪四ツ橋の電気科学館に、翌年には東京有楽町の東日天文館に設置された。しかし、東日天文館のものは、1945年5月の東京空襲で惜しくも焼失した。一方、電気科学館のものは1989年に閉館するまで52年間も活躍した。戦後、地方に住む子供たちにもプラネタリウムの魅力を伝えたいと考えた人々がいた。彼らはみな関西の人で、電気科学館のプラネタリウムを参考に、いろいろな簡易式プラネタリウムを開発し子供たちを楽しませた。その後、東京の五藤光学と大阪の千代田光学（現：コニカミノルタ）が、本格的な国産プラネタリウムの開発に参入した。そして、1959年に五藤光学が中型プラネタリウム M-1 型を、1960年に千代田光学がノブオカ式Ⅲ型を開発し、ここに本格的な国産プラネタリウムが誕生した。

1960年代は、国産プラネタリウム黎明の時代で、ツァイスが大型機種のみだったのに対し、日本では各地の様々な施設で利用できるよう、大型から小型までいろいろな大きさのプラネタリウムが開発された。また、1970年代は、発展の時代で、美しい星空の追及と惑星運動の高精度化および操作の自動化が行われた。さらに、1970年代後半から1980年代前半までは、安定の時代で、1979年が国際児童年に制定されると、プラネタリウムをより使い易いものにするためのモデルチェンジ等が行われた。

1980年代後半からは、宇宙型の時代であった。1982年にハレー彗星が検出され、1986年に近日点を通過することが分かると、宇宙に対する関心が急に高まった。これまでのプラネタリウムは、地球上から眺めた惑星の運動しか再現できなかった。そこで、太陽系近傍から眺めた惑星の運動をも再現する、宇宙型プラネタリウムの開発がさげられるようになった。そして、ついに1984年に五藤光学によって世界初の宇宙型プラネタリウム GSS-I 型が、1985年にミノルタによって INFINIUM が開発された。

## ■ Abstract

The motions of the celestial bodies presented a difficult phenomenon for ancient peoples to comprehend. They created celestial globes and orreries (mechanical models of the solar system) to aid their understanding. These models represented the solar system as seen from an external perspective, and so they were difficult to interpret in an intuitive way.

In 1923, the German company Carl Zeiss AG invented a revolutionary device that displayed the motions of celestial bodies as seen from within the celestial sphere. This was the birth of the projection-type planetarium.

Zeiss planetariums were quickly imported into Japan and installed at the Osaka Electric Science Museum of Yotsubashi in 1937 and at the Tonichi Tenmonkan in the Tokyo Nichi Nichi Shinbun Building in Yurakucho, Tokyo, in the following year. The Tonichi Tenmonkan device was sadly lost in the firebombing of Tokyo of May 1945. The planetarium installed in the Osaka Electric Science Museum operated faithfully for 52 years until its closure in 1989. In the post-war period, some individuals from the Kansai region wanted rural children to experience the charms of planetariums. They constructed various simplified planetariums based on the design of the Electric Science Museum device to the delight of the children. Eventually Goto Inc. of Tokyo, and Chiyoda Kogaku Seiko of Osaka (present-day Konica Minolta) raced to become the first domestic manufacturer to develop a fully-featured planetarium. The birth of the domestic, fully-featured planetarium was heralded by Goto Inc.'s medium-sized M-1 which arrived in 1959, and Chiyoda Kogaku Seiko's Nobuoka Mark-III that was developed in 1960.

The 1960s marked the dawn of Japanese planetariums. Whereas Zeiss offered large-scale models, domestic manufacturers developed planetariums of various sizes for installations in a wide range of facilities and localities. The 1970s were a time of growth, and intense efforts went into projecting beautiful starlit skies and accurately reproducing the planetary motions. Operation also became automated. The late '70s through to the early '80s were a period of stability; planetariums were upgraded to make them easier to use in conjunction with UNESCO proclaiming 1979 as the International Year of the Child.

The era of allocentric planetariums began in the latter half of the 1980s. Halley's Comet was recovered in 1982 and was predicted to reach perihelion in 1986. This triggered a sudden surge of interest in astronomy among the general public. Contemporary geocentric planetariums could only display the planetary motions as seen from the earth. An urgent need arose for allocentric models that could also display the motions as seen from the neighborhood of the solar system. This led to the development of the world's first allocentric planetarium: Goto Inc.'s GSS-1 in 1984, followed by Minolta's INFINIUM in 1985.

## ■ Profile

**児玉 光義** Mitsuyoshi Kodama

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

1963年 山形県立寒河江高等学校 卒業  
1963年 株式会社五藤光学研究所 入社  
製造部でプラネタリウムの据付調整を担当  
1972年 ミノルタカメラ株式会社 入社  
プラネタリウム設計課で恒星原板の開発に従事  
1973年 宮崎交通株式会社 入社  
宮交シティ・宇宙ミュージアム、チーフ・ディレクター  
1981年 株式会社五藤光学研究所 再入社  
Yプロジェクトで宇宙型プラネタリウムの開発  
1986年 株式会社五藤光学研究所 システム設計課 課長  
1995年 株式会社五藤光学研究所 企画部 課長  
1998年 株式会社五藤光学研究所 第一営業 主幹  
1999年 株式会社五藤光学研究所 第一営業 執行役員  
2002年 株式会社五藤光学研究所 経営企画室  
SEプロジェクト担当

## ■ Contents

1. はじめに .....	4
2. 投映式プラネタリウム誕生の背景 .....	5
3. 国産プラネタリウムの誕生以前 .....	11
4. 国産プラネタリウムの誕生 .....	20
5. 国産プラネタリウムの仕組みと構造 .....	35
6. 国産プラネタリウムの発展 .....	74
7. 宇宙型プラネタリウムの開発 .....	90
8. おわりに・謝辞 .....	103

# 1 | はじめに

本報告書は、投映式プラネタリウムが国産化されてから、どのような技術的変革を経て発展してきたかという調査報告書である。しかし、現在、日本には350以上のプラネタリウム関連施設があると言われていたが、そのプラネタリウムがどのようなものであるか、あまりよく知られていないのが現状である。

そこで、本筋からは少しはずれるが、投映式プラネタリウムの誕生から国産化されるまでの経緯と、プラネタリウムの技術を理解するために、その仕組みと構造についても記述することにした。

さて、国産プラネタリウムがはじめて開発された頃、プラネタリウムの販売先として一般観光施設やデパート、科学館などが考えられていた。ところが、投映式プラネタリウムの機能が、天体の運動を主体とした日本の天文教育に非常によく合致することから、その後は、科学館や博物館、児童会館、学校などの教育施設に一本化されていった。

筆者が、プラネタリウムの仕事に就いた1960年代は、小学校4年生で星座について学び、5年生で星の動き（日周運動）、6年生で太陽の年周運動について学ぶようになっていたと記憶している。従って、天文宇宙の教育的なプラネタリウムでは、恒星投映機と惑星投映機が特に重要であるといえる。そこで、本報告書では特に恒星投映機と惑星投映機を中心に、図や写真を用い実例を示しながら記述した。

さて、小学校4年生で学ぶ星座であるが、ただ単に星座が分かればよいのではない。ここでは、星の集まりが時間がたっても、並び方が変わらないということに気づかせることが大事なのであり、その先にあるのが星座なのである。従って、星の集まりが星座である必要はない。ここで、プラネタリウムの恒星投映機をどのようにすればよいかという問題が出てくる。

星の数が少なくとも困るが、多ければ良いというわけでもない。実際の星空に近い方が最も良いということのようだ。因みに、肉眼で見える星の数は、6等星まで約8,000個といわれている。1959年に五藤光学が開発したM-1の恒星数は4,500個であり、1966年にミノルタが開発したMS-10は5,000個である。

また、1969年にミノルタが開発したMS-15の恒星数は6,000個で、1972年に五藤光学が開発したGシリーズは、恒星の光源をハロゲンランプにし、恒星原板に減光マスクを採用したGM-15は、恒星数を8,500個とした。

このように、恒星投映機の歴史は、いかに自然に近い星空を作るかという技術の歴史であったといえる。

つぎに、惑星投映機であるが、当初、惑星運動の機構についてはツイスの原理の模倣であった。しかし、1972年に開発された五藤光学のGシリーズからは、独自の3重円板や中心差機構を取り入れた高精度の惑星運動機構を実現している。また、投映筒は、当初は各惑星とも1本であったが、M-2のような高級機では、柵の台板をつないでいる支柱で惑星の投映像が隠されないように、月以外の惑星投映筒を2本にした。ただし、木星と土星は運動量が少なく、支柱に投映像が隠されることも少ないので、片方の投映筒に望遠鏡像（木星は楕円形で縞模様があり、土星はリングのある像）の原板を入れ、スイッチによって切り換えられるようにしている。従って、惑星投映機の歴史は、いかに惑星の運動をケプラー運動に近づけるかという歴史であったといえる。

1984年、五藤光学が世界初の宇宙型プラネタリウムGSS-Iを開発した。惑星投映機を恒星投映機から分離し、コンピュータを用いて演算制御することによって、太陽系近傍から眺めた惑星の運動の再現に成功した。また、翌1985年にはミノルタが宇宙型プラネタリウムINFINIUMの開発に成功している。GSS-Iは、日周、緯度、歳差、架台回転の4軸を用いて仮想軸運動を可能にしたのに対し、INFINIUMは恒星投映機を球形にした、日周、緯度、架台回転の3軸制御である。

ところで、小学生のときの地球と宇宙では、星の動きを軸にして天文宇宙を学んだが、中学生になるといよいよ銀河系の話になる。そこには、何のつながりもない。そこで、GSS-Iでは、惑星投映機を用いて、春の北斗七星、夏のはくちょう座、秋のペガサス座、冬のオリオン座のうちの1つを投映し、現在から1万年後までの固有運動を行って、銀河系の回転を感じる機能をもたせている。また、太陽系からケンタウルス座 $\alpha$ 星やバーナード星など比較的近い20の星の1つに旅したときに、先に掲げた4つの星座の内の1つの星座の形が、次第に変わって行くのを眺めて、銀河系の広さを実感してもらうという機能も持たせている。

本調査報告書は、投映式プラネタリウムに限ったので、宇宙型プラネタリウムまでとした。

## 2 | 投映式プラネタリウム誕生の背景

### 2.1 精神的模型と教育的模型

天文学は最古の学問とされているが、他の学問と違って、天体を手で触って調べたり、実験によって天文現象を再現したりすることができない。そのため、天文学は理解するのがとても難しい学問であった。そこで、古代の人々は、理解を助けるためにいろいろな模型を作った。その一つが精神的模型である。

古代エジプト人は、大地を東西に伸びた長方形と考え、そこを母なるナイル川が流れていると考えた。四隅の高山が天を支え、その外側を天の大河が還流しており、その支流がナイル川と考えた。私たちが天を仰ぐと、丸天井で覆われているように見えるが、古代エジプト人は、地面と同じ長方形をした、平らな天井が地面と平行に広がっていると考えた。天は固体でできている、しかも金属製である。古代エジプト人は、星を天井からさげられたランプと見なし、夜になると灯がともされると考えたのである。太陽が毎日、東の地平線から出て西の地平線に沈む太陽の日周運動を、古代エジプト人は円運動と考え、夜間それが見えないのは、山の陰にかくれるからだと考えたのである。



図 2.1 古代エジプト人の宇宙観

また、古代バビロニア人は、大地の中央に高い山があって、そこがユーフラテス川の源泉であると考えていた。大地は大海に浮んでいて、水中に沈んだ部分は中空でそこが死者の国である。天は固体でできていて金属製である。天は無限の厚みを持ち、天と地の間の隙間には、雨、空気、エーテルが満ちている。また、星々を神々と見立てて、その日周運動は、神々が二輪車に乗って走るということによって理解していた。同様の考え方が太陽にもあてはめられた。つまり、天の王者の太陽神は、一番立派な馬車で天を駆ける。太陽の輝く

光球は、馬車の片方の車輪である。太陽が毎日同じ道を通って、天を一周すると考えた。北方の通路は、天球の内部が半円形のトンネルとなっていて見えない。その東の端には日の出口、西の端には日の入口があって、朝と夕は、太陽がこれら二つの穴を出入りすることによって訪れるのである。つまり、バビロニア人は、太陽が円運動をしていると考えたのである。

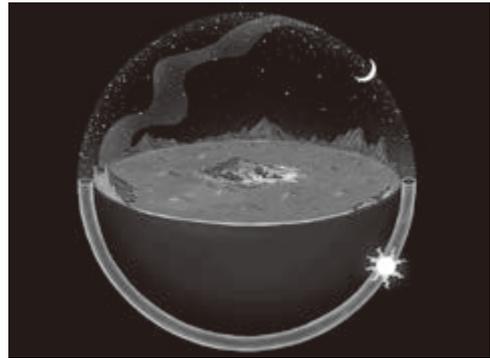


図 2.2 古代バビロニア人の宇宙観

古代ギリシャ人は、大地を扁平な円盤と考え、その周りを大河オケアノスがめぐり、内側に星々をちりばめた球の中心に浮んでいると考えた。従って、星々が地平線に没するときは大河に沈み、大河の中を通って再び東の地平線から昇るものと考えたのである。

また、地球は円柱形をしておりその一面にだけに人類が住んでいる。そして、地球の周りには上下左右平等に万有が存在するため地球はどちらへも動くことはないと考えた。また、宇宙の開闢については、無限の混沌から天体が生じたと考えた。

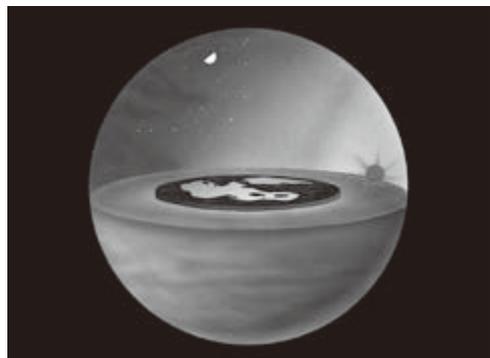


図 2.3 古代ギリシャ人の宇宙観

もう一つは、教育的な模型であり、星空の模型と惑星の運動模型の2つがある。星空の模型で外から眺めるものとして最も古いものは、彫像のアトラスが肩に担いでいるもので、B.C.300年に作られたとされる有

名なファルネーゼ (Farnese) 家の天球儀がある。

しかし、天球儀には星々がプロットされているわけではなく、星座の絵が浮き彫りにされたシンプルなものである。



図 2.4 ファルネーゼ家の天球儀

つぎに、150 年ごろプトレマイオス (Ptolemy's) が作ったとされる天球儀は、残念ながら残っていないが、少なくとも 1 つ以上作られたことが知られている。彼はその構造についてアルmageストの中に詳しい説明を書いている。

また、古い地球儀や天球儀の研究家のスチーブソン (Edward L. Stevenson) は、1043 年にカヒラ (Kahira) の公立図書館にあった 2 つの天球儀を「巧妙な機械」といい、その一つがプトレマイオス自身によって作られたものであると述べている。従って、プトレマイオスの天球儀は、星々がプロットされたかなり精巧なものだったことが窺がえる。

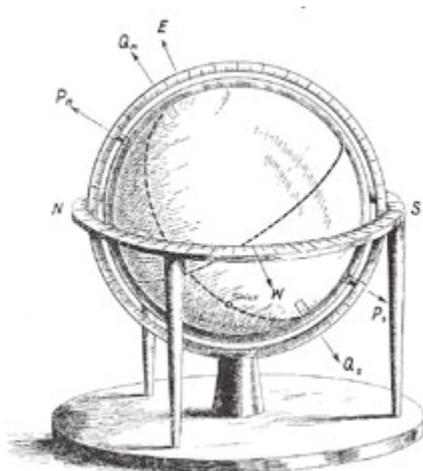


図 2.5 プトレマイオスの天球儀

ギリシャの天文学は、アラビア人にとって非常に重要であり、特にプトレマイオスのアルmageストは彼等に注意深く研究された。明るい星の大部分がアラビア人によって名付けられており、それらの名前は al

を前に置く。例えば、アルタイル (Altair)、アルゴル (Algol)、アルデバラン (Aldebaran) などアラビアの影響を示している。勿論、天球儀の製作もアラビアとペルシャの天文学の一部である。スチーブソン (Stevenson) によれば、アラビアの初期の天球儀は 1080 年から存在し、1600 年より前に作られたものだけでも 1 ダース近く存在する。その一つ、ペルシャの天球儀がオックスフォードの科学歴史館にある。

その天球儀は、直径が 16.2cm の真鍮製で、1 等星は銀の円板をちりばめて表され、小さな見掛けの明るさの星は、大きさの異なる小さな丸や円で表されており、星座の絵も描かれている。天の赤道と黄道は、十分注意して分割され、春分点に対する星の位置関係によって、天球儀の分点を決定することができるという、とても精巧な天球儀である。

それから、1728 年のコペンハーゲン城の火災によって焼失した、チコ・ブラーエ (Tycho Brahe) の作った天球儀があった。それは、直径が約 1.8m で、内部は木製である。1570 年にアウグスブルグで作られ、その後、デンマークに送られた。彼は、それを真鍮で覆い、注意深く 2 つの円を彫刻し、それを角度の度と分に分割した。そして、全ての肉眼で見える星は、1600 年分点の正確な等級と位置に注意深く加えられた。この天球儀が完成するまでに 25 年もかかった。



図 2.6 チコ・ブラーエの天球儀

ところで、昔の人々も宇宙を外側から眺める天球儀では宇宙を理解するのが難しいと考えたようである。そこで、天球儀の直径を 4~5m ほどの巨大な球にしてその中に数名の人々が入り、天球儀の星のところに小さな穴を開け、そこから漏れてくる外からの光を星と見立てて眺めるようにした。そして、その巨大な球を水力や電力で回転させて、星々の日周運動を再現しようとしたものがある。

1644年から1664年にかけて機械工アンドレアス・ブッシュ（Andreas Busch）によって作られた直径4mの巨大な天球儀がそれである。フリードリッヒ3世（Duke Frederick III）の居城ゴットルプ城の庭に据えられたので、ゴットルプの天球儀と呼ばれている。

水力仕掛けで回転するため、中に10名程の人が入り、ホルスタイン地方の星の出没を見ることができた。



図 2.7 ゴットルプの天球儀

また、ゴットルプの天球儀よりも進歩したものとして、1912年から1913年に作られた、クラーク大学の元学長で科学博物館の館長のワーレス W. アトウッド（Wallace W. Atwood）が設計したアトウッドの天球儀というのがある。0.4mmの鉄板で作られた直径4.57mの球で、重さはわずかに227kgである。シカゴの緯度45°に設置され、球の赤道の周りは管状のリングで支えられていて、電気仕掛けで回転するローラーの上に置かれている。球には4等級以上の星と5等級の一部の星692個が、直径の異なる穴で開けられている。太陽は、黄道に沿って動く電球によって表現され、月の位相変化は、いろいろな位相に切った、蛍光塗料の塗られた一連の円板によって表現される。金星、火星、木星、土星の4つの惑星は、黄道に沿って開けられた小さな穴のカバーを、開けたり閉めたりして表現するようになっている。



図 2.8 アトウッドの天球儀

つぎに、惑星の運動模型であるが、1901年に行わ

れた、ギリシャのアンティキティラ島沖の水深60mの海底に沈んだ、古代の難破船の引き揚げ作業中に、

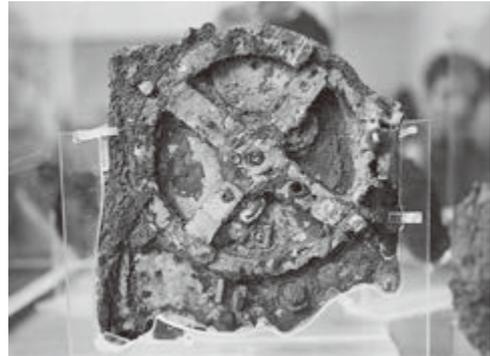


図 2.9 アンティキティラの機械

ばらばらの状態で発見された、約2000年前の謎の青銅器具アンティキティラの機械というのがある。

2006年の秋、アテネ考古学博物館やイギリスのカーディフ大学などの国際チームが、コンピュータ画像で復元することに成功した。それによると、この機械は、太陽と月の運行周期や日食などを予測する、最古のアナログ計算機だったという。難破船から引き揚げられたのは、ギアのような装置の一部など約80個の遺物が確認された。その構造や機能をめぐって、100年以上も論議が続いている。国際チームは、エックス線断層撮影装置などを使い、装置の内部構造などを詳しく調べ、大小30個の歯車の回転数と組合せを特定し、天体の運行を予測する装置だったことを突き止めた。

それから、ドイツの科学者クリスチャン・ハイゲンス（Christiaan Huygens）が設計し、1682年にハーグのヨハネス V. クレーン（Johannes van Ceulen）によって作られた、ハイゲンスのプラネタリウムと呼ばれるものがある。この装置の特徴は、地球に対する各惑星の公転周期の比を、連分数を用いて厳密に近似させていることと、各惑星のケプラー運動を再現するために、離心円を用いていることだ。

これは、投映式のプラネタリウムについても、非常に重要なことである。ハイゲンスは、自然にできるだけ相応した惑星の相対的な周期を得ることを求めた。彼は、地球に対する土星の周期が、77708431:2640858の比によって厳密に近似できることを見つけた。ギアを用いるために、この比を簡単にするのに連分数を用い、この比が206:7の歯数のフォイルを用い、土星と地球の相対的な周期を十分満足に表すことができた。同様な解析を、他の惑星に対する比を導くために用いた。

連分数を用いる方法は、投映式プラネタリウムの惑星投映機を設計するとき用いられている。ハイゲンスのプラネタリウムは、太陽を中心として、幅

70.1cm、奥行き 14.7cm の 8 角形の箱に収められている。この装置は、時計仕掛けによって運転され、後ろの 4 つのコイル状のパネは、クランクハンドルによって巻かれる。真鍮の表面の板の 6 つの円形の溝は、土星までの惑星の軌道を表わす。それらの中心は、楕円軌道を表わすために、太陽から偏心している。小さな惑星の模型は、偏心したリンクギアによって、円形の溝に沿って不等速で運転される。



図 2.10 グラハムの三球儀

17 世紀と 18 世紀の初頭の間、時計師ジョージ・グラハム (George Graham) が三球儀 (地球・月・太陽システム) を 2 つ作ったことが知られている。当初、グラハムは、有名な時計メーカーのトマス・トンピオン (Thomas Tompion) で働いていた。この熟練したチームの製作した 1 つをオックスフォードの歴史科学館で見ることができる。それは、サボイのエウゲネ (Eugene) 王子のために、トンピオンとグラハムが 1704 年から 1709 年に作ったものである。

トンピオン-グラハムの機構のローレイ (John Rowley) の作ったコピーは、ローレイの後援者のチャールズ・ボエル (Charles Boyle) に贈られた。この装置は、エッセイストでジャーナリストでもあったリチャード・スチール卿によってオラリイと名付けられた。この名称は、全惑星を含む模型のような装置に対して、英語圏では今も使われている。この最初のオラリイは、1937 年に修復され、ロンドンの科学博物館に展示されている。装置は、直径 76cm、深さ 22.8cm で、黄道を示すリングは 12 本の柱によって支えられている。

その他、リッテンハウスのオラリイ (1767-1771) や、エイジンガ・プラネタリウム (1774-1781) などがある。ここで、オラリイというのは、太陽系運動儀のことである。

それから、天井から吊り下げる方式のオラリイが、ミュンヘンのドイツ博物館に「コペルニクス説のオラリイ装置」として、1923 年に設置された。

これは、当時カール・ツァイス社のチーフ・エンジニアだったフランツ・マイヤー (Franz Meyer) によって設計されたものである。直径が 12m で高さ 2.8m の円形の部屋の天井から、各惑星が吊り下げられていて、太陽は、部屋の中央に下げられた 23cm のオパールガラスの電球で表されている。土星までの各惑星は、それぞれの衛星とともに、楕円形のレールの上を別々に動く電動のキャリッジから吊り下げられている。キャリッジは、正しい軌道の比率で駆動されるが、外惑星は、距離が遠いので正しい位置関係にはなっていない。

地球の下には移動するカゴが下げてあり、観測者に乗せて 12 分で太陽の周りを 1 周するようになっている。部屋の周囲の壁には、黄道 12 星座が描かれていて、太陽と各惑星の位置を、潜望鏡を通して見ることができる。部屋の照明が消され、中央の明るい太陽が暗くなり、黄道 12 星座の明るい星々を表わす 180 個の小さな光が灯されると、光景は非常に感動的なものになる。

フランツ・マイヤーが、ゴットルプの天球儀やアトウッドの天球儀のことを知っていたかどうかは分らないが、オラリイも宇宙の外側から眺めるようになっていて、直感的に宇宙を理解するのが難しいと考えたのだろう。わずか 1 人だが、地球上から各惑星の運動を眺められるように考えられていた。

つまり、この時、天球儀もオラリイも、投映式プラネタリウムのすぐそばまで来ていたのである。

しかしながら、このコペルニクス式のオラリイは、たった 1 人しか地球の観測台に乗ることができないという欠点のために、第二次世界大戦中に部分的に取り壊され、残った部品はドイツ博物館の倉庫に保管されることになった。



図 2.11 コペルニクス説のオラリイ<sup>(1)</sup>

## 2.2 カール・ツァイスの投映式プラネタリウム

1913年の終り頃、ハイデルベルグ天文台の天文学者マックス・ウォルフ (Max Wolf) は、ドイツ博物館の初代館長オスカー・フォン・ミラー (Oskar von Miller) と、天体の動きを再現するための教育的な模型の可能性について話し合った。



図 2.12 マックス・ウォルフ (1863-1932)

それは、薄い鉄板を溶接して直径6mの球状にし、中に少人数の観客を入れて星の日周運動を見せるものであり、シカゴ科学アカデミーのアトウッドの天球儀に似たものであった。

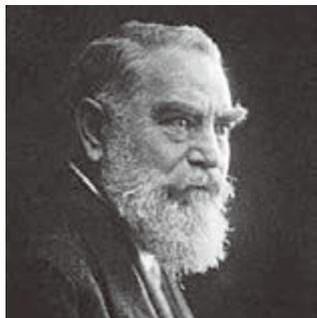


図 2.13 オスカー・フォン・ミラー (1855-1934)

オスカー・フォン・ミラーは、この年、この計画を携えてイエナのツァイス工場を訪ね、同所が喜んでその研究を行うという同意を得た。しかし、この計画の最初の調査は、第1次世界大戦で中断された。



図 2.14 ワルター・パウワースフェルト (1879-1959)

これまで、星空の模型としての天球儀、惑星運動の模型としてのオラリイの発達を見てきた。おそらく、マックス・ウォルフの考えていた計画は、アトウッドの天球儀のような星空の模型と、惑星の運動模型の合体したようなものだったと考えられる。しかし、アトウッドの天球儀では、中に入る観客の数が少なすぎる。また、オラリイは惑星の運動を外側から眺めた状態で、地球から見た現象を再現するのが難しいことなどが問題視された。

この窮地を救ったのが、ワルター・パウワースフェルト (Walther Bauersfeld) 教授である。1919年3月、教授はこれまでとは全く異なる考えを生み出した。恒星や惑星を映し出す投映機を、機械的に回転する中空の球の代わりに、投映機の集まり全体を動かすように置き換えてしまったのである。それは、明るく輝く星の像を、従来考えられていたものよりもはるかに大きな寸法の、白く塗られた球形のドーム上に投映するものである。ドームの中心は、投映機によって占められ、ドーム内は全くの暗黒である。投映機は、ドーム上に自然界で実際に起こる運動と一致するように、適当な機構によって動かされ誘導される。投映機の動きは、投映機内の数々のランプのように、スイッチボードからコントロールされるモーターによって行われる。

この発明の基本的な特徴は、各惑星の動きを再現するギアの機械的な構成が、太陽を中心とした機構になっていながら、各惑星の投映筒が、地球を中心とした運動を再現することである。そこで、「ステラリム (stellarium)」という名称の代わりに、とても装置の全機能を表現することはできないが、「プラネタリウム (Planetarium)」という名前がふさわしいと考えられたのである。

この新しいアイデアが考案されてから、第1号機が完成するまでの間に、5年の歳月に亘る絶え間のない苦労があった。

パウワースフェルト教授は、600枚以上の紙片に、

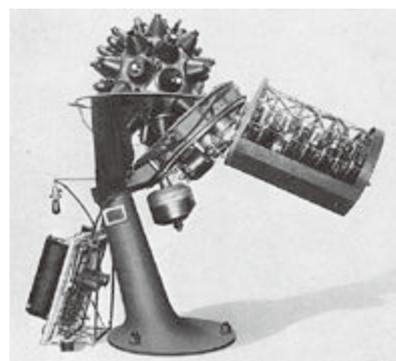


図 2.15 ツァイス・プラネタリウム I 型<sup>(2)</sup>

全ての問題の個々の部分にわたって、基本的な天文学上および技術上の計算を完成させた。大勢の科学者、技術者、研究助手および機械工が教授のアイデアを実現するためにその仕事に従事した。そして、1923年8月、ツァイス研究所の屋上に作られた直径16mのドームで、大空が初めて人工的に再現された時、人々の長い間の努力が報われたのである。

このツァイス・プラネタリウムⅠ型の恒星投映機は、直径が50cmで、その中心はドームの中心と一致しており、31個の投映筒がつけられ、その光源は200Wの白熱電球で、恒星投映機の中心に置かれている。天球上の恒星は、12個の五角形と20個の六角形に分割され、31個の恒星原板は、写真による方法で作られた。恒星投映機の32区分の1つは、腕によって惑星投映機と接続されている。従って、この部分を再現する恒星が映らないことになる。しかし、この部分は南の黄極点付近の比較的星が少ない部分である。このツァイス・プラネタリウムⅠ型は、架台がミュンヘンの緯度（北緯48°）に固定されているので、ミュンヘンの星空しか再現できないという欠点があった。

そこで、地球上のどのような緯度から見た星空でも再現できる、ツァイス・プラネタリウムⅡ型が開発され、1926年に西ドイツの工業都市バーメンに設置されて大成功をおさめている。今日、ツァイス・プラネタリウムの名で知られているものは、実はこのⅡ型以降のプラネタリウムである。



図 2.16 ツァイス・プラネタリウムⅡ型<sup>(3)</sup>

### 2.3 モリソン（アカデミー型）プラネタリウム

それから、アメリカカリフォルニア州サンフランシスコのゴールデンゲート・パークに、カリフォルニ

ア科学アカデミーの科学博物館があり、ここにツァイス型プラネタリウムとは異なる形状をしたプラネタリウムがある。これは、科学アカデミーの人々が自分達で作ったプラネタリウムである。

1944年、カリフォルニア科学アカデミーは、プラネタリウムの建設計画を策定した。それは、科学アカデミーの援助者のアレクサンダー・モリソン（Alexander F. Morrison）が、プラネタリウムの建設資金として20万ドルの寄付を約束したからである。当時、アメリカにはプラネタリウムが6箇所しかなく、北部カリフォルニアに建設しようという計画は、大きな反響を呼んだ。しかし、予想される費用には遠く及ばなかった。

ところが、協力的な新聞記事が窮状を報道すると、サンフランシスコ中の小・中学生たちが小遣いを出し合って、1万ドルの寄付金が集まった。その他、いろいろな協力によって30万ドルが集まり、総額50万ドルに達し、ようやく計画が進められるようになった。

予算以外にも問題があった。唯一のプラネタリウム製作会社であるカール・ツァイスが、敗戦の影響で製作不能になっていて、いつ再開できるか分からない状態であった。しかし、計画の中心となった学芸員で古生物学者のダラス・ハンナ（G. Dallas Hanna）博士と機械技師のアルバート・ゲッテン（Albert S. Gettenn）には或るもくろみがあった。

第二次世界大戦末期の1943年から、科学アカデミーでは化石資料保存のための部屋を改装し、海軍や空軍の光学機械を修理したり、部品を製作するための工場が作ってあった。それに伴って、学芸員の多くは、光学や機械製作の専門家に变身していた。そこで、プラネタリウムを自分たちの手で作ってしまえと考えていたのである。そして、海軍造船所、空軍、周辺のいろいろな会社の協力を得て、当初の見積りの倍の140万ドルの経費と倍の歳月の4年を越える製作期間を経て、1952年11月、ついにドーム直径19.8m、座席数310席の科学アカデミー独自のプラネタリウムを完成させたのである。

#### 画像の出典

- (1)、(3) ZEISS Planetarium History
- (2) ZEISS Archiv

#### 参考文献

- ・島村福太郎著「天文学史」 中教出版 1962.
- ・PACIFIC DISCOVERY, California Academy of Sciences. 1952.

# 3 | 国産プラネタリウムの誕生以前

## 3.1 大阪電気科学館のプラネタリウム

大阪市が、これまで電気供給事業を行ってきた大阪電灯株式会社を買収し、電灯市営事業を開始したのは1923年（大正12年）10月のことである。それから満10年、1933年（昭和8年）になって、これを記念するため大阪市電気局において、各種の事業が計画された。その一つは、電気知識の普及と産業文化の向上発展を目的とした、電気に関する「博覧会の開催」であり、もう一つは、恒久的な電気知識の啓発施設としての「電気科学館の建設」である。

電灯市営10周年記念電気科学博覧会は、大阪中央放送局の参加を得て、1933年（昭和8年）9月1日から10月31日まで、市内東区備後町2丁目の堺筋館（元の白木屋）で盛大に開催された。堺筋館の4階から8階までをメイン会場とし、4階には明かりの歴史館を置き、5階および7階を電気実演館に当て、6階を無線科学館とした。余興館は7階の一部を当て、この博覧会の呼び物の一つである屋内用テレビジョンは、送影所を2階の一部に設置した。無線を使った桃太郎ロボットなど最新の無線機器を使った数々の展示は好評を博し、会期中訪れた入場者は211,873人を数えた。

一方、電気科学館の建築の方は、この大事業を完遂するには広く内外の関係方面の意見を聞き、衆知を集めなければならない。そこで、1932年（昭和7年）7月に、外部の工学博士など10名に委託して、電気科学館建築委員会を組織し建築設計の有力な資料の供与を得た。また、同時に大阪市建築課の2名の技師を囑託として建築の設計を進めた。こうして、富士岡重一など建築界の大家の指導のもと、最新の技術を取り入れた設計が考案されたのであるが、しかし、出来上がった設計案は、現状とはまるで異なるものであった。地階食堂、1階市電の店と市電乗客係事務所、2階貸室、3階美容室、調理室など衛生施設、4階は大衆浴場、5階に大食堂を設け、6階にはスケートリンクを置き、電気利用の極致を実地で行くものであった。一応この内容をもって計画案を終り、建築許可を大阪府知事宛に申請して、1933年（昭和8年）2月に建築許可が下りた。1934年（昭和9年）5月27日、いよいよ四ツ橋元運輸部事務所跡に工を起し、6月1日には地鎮祭を行い、株式会社清水組の施工によって工事を進めた。

敷地250坪に建坪190坪の高層建築を施工する関係上、全く作業場の余地がなく、鉄骨組は全部安治川下流沿いの鉄工作業場で組立て、毎日夜中に船積で川を上り、早朝四ツ橋河畔の荷上場に陸揚げし現場へいちいち運ぶという難工事であった。

こうして、工事は順調に進んでいたが、一方陳列に関する委員会の審議の進行につれて、途中1935年（昭和10年）2月に至り、5階以下に重大な設計変更が生じた。これは、電気科学館にとって実に意義深いことであり、電気局長平塚米次郎の英断によるものである。



図 3.1 電気局長 平塚米次郎<sup>(1)</sup>

つまり、1934年（昭和9年）、木津谷電灯部長が欧米視察旅行を終えて帰朝し、第一にプラネタリウムの建設計画を提唱されたのである。



図 3.2 電灯部長 木津谷栄三郎<sup>(2)</sup>

小島技師は、その命を受けて海外事情の調査に当たった結果、プラネタリウムは邦貨にして15万円くらいで輸入できることが分かった。しかも、わが国財閥の経済的な援助によって、容易に実現できるものとの予想の下に案を練った。そこで、大いに国内世論の喚起を促すとともに調査と研究を始めた。いろいろ調べてみると、プラネタリウムは実に巧妙な現代科学技術の粋を集めた天体運行の投映装置で、電気科学館としてはこのくらいの設備を持たなければ、世界に誇る科学博物館とは言えないものと断ぜざるを得ないということになった。



図 3.3 電気科学館 初代館長 小島康郎<sup>(3)</sup>

これは、ドイツのカール・ツァイス社の専売品で、三井物産株式会社を通じていろいろ資料を取寄せ、在日カール・ツァイス社とも交渉を重ねた結果、発注から製作に至るまで約1年、その輸送に約1ヶ月を要すること、購入価格は定価32万3千マルクで、邦貨に換算すると実に46万8千円、別に運賃、保険料、技師派遣費など3万円が必要なことが分かった。最初の計画とは大きくかけ離れた結果となって、容易に実現出来る見込みがなくなってきた。

しかし、電気科学館を完成するためには、万難を排してその実現を図ることに局議一決して、極力世論の支持と価格低減の交渉を推進することになった。

当時、46万円といえば小学校の校舎が2、3校も建てられる高価なものであり、室戸台風の被害を受けた直後の大阪市としては、特に学校の被害が大きく、差し当りこれらの復興が急務であった。また、本当に市議の責任を果たすためには、委員はみな一度海外の実地調査を必要とするなど難しい質問が出た。しかし、大阪城再建の例もあり、結局儲かる事業であるという一事によって万事解決して、1935年（昭和10年）6月29日に無事本会議を通過したのである。

プラネタリウムの建設に関しては、大阪市議会で購入価格は極力低減を図ることと条件を付けて承認されたので、早速購入に関して本格的な交渉に入った。三井物産株式会社大阪支店を通じて、三井ドイツ物産株式会社からドイツのカール・ツァイス社へ、また在日日本カール・ツァイス社へも交渉を始めた。

その後、数回折衝したがドイツのカール・ツァイス社は、最初の言値32万3千マルクは所謂定価であって、世界のどこに出してもこれまでこの価格は崩したことがないと、どうしても一線を譲らないのである。止むなく先方の見積額を認めることとなった。購入の条件は下記の通りである。

1. 諸雑費を含めて邦貨48万円とする。
2. 支払方法は契約と同時に20%、到着時に75%、完成後に5%とする。

3. 発注後1ヶ年以内に納入する。
4. 保証期間は1ヶ年とする。
5. 第3者へ譲渡する場合はカール・ツァイス社の承諾を要す。

その後、三井物産会社大阪支店とも円満な交渉の妥結を見て、会社からドイツ物産を通じ、同年12月9日プラネタリウム購入発注の電報を送ったのである。

そこで、6階以上をプラネタリウムホールに変更されたのである。この変更のために、建築設計に大きな変更を生じ、一時工事が3階の鉄骨組で中止され、その間相当の空白が生じたのである。

特に、プラネタリウムホールの設計には少なからず苦心した。外国では、大抵地上1階にあり、その構造も非常に簡単で、多くは鉄筋コンクリート構造に、ラス張りモルタル仕上げ程度のものが多い。

ところが、電気科学館の場合は他の設備の関係で、6階以上に設置、従って大勢の観覧者を収容するための建築許可の条件がとて厳しく、特に鉄骨鉄筋コンクリート造りのものとした。実に堅牢な構造と体裁を備えたものである。

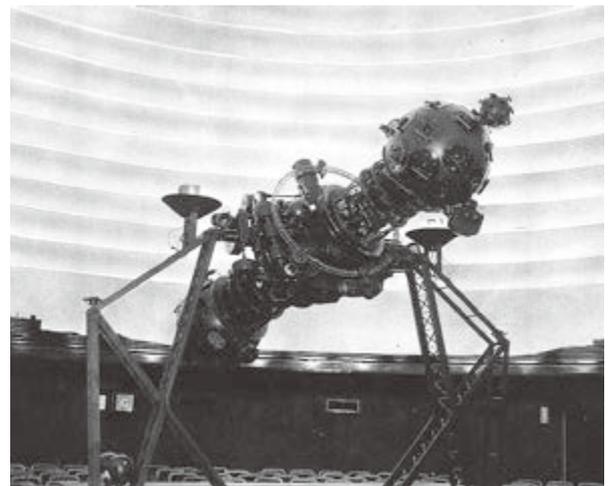


図 3.4 リネン地を貼ったドームスクリーン<sup>(4)</sup>

また、装備においても、300余りの座席は、完全なスプリング・クッションを有する35°の傾斜自由のリクライニング・シートである。天井の投映面は、夏用の洋服6,000着分に相当するリネン地（リンネル＝亜麻の繊維で織った薄地織物）を使用した。この布地の調達にも苦勞し、ようやく横浜のある洋服地問屋から入手したものである。

ドーム内の地平線まわりの背景は、四ツ橋から見た大阪市周辺の山々、目ぼしい建物などの風景を影絵で描き、これを約45°の傾斜を持った黒色エナメル仕上げの影絵板で、鎧戸構造にして反射光が座席に当るのを防ぎ、太陽その他の星々の投映がこれに当たっても、

何れも完全に山の端や海面に沈む実感を与えるようにできている。完全な冷暖房完備で、吹き出し口と吸い込み口は、ドーム内の床面と側壁に設けてある。

9階屋上にはプラネタリウムドームの上部が突き出している。これに着色モザイクタイルを使って大地球



図 3.5 ドーム外側の大地球儀（絵葉書より）

儀を表現している。北半球、特に日本領土の全貌を現わし、世界最大の縮尺実に1/61,500という大地球儀である。因みに、このタイル貼り工事の費用は約1万円であった。

1936年（昭和11年）12月23日、日本郵船照国丸は東洋初のプラネタリウムを積んで無事大阪港に入港した。同年大晦日の慌ただしい中、ドイツのカール・

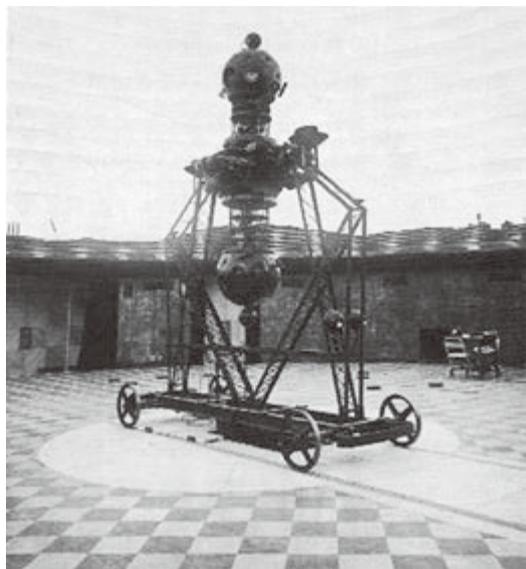


図 3.6 ほぼ組立を終えたプラネタリウム<sup>(5)</sup>

ツァイス社のランゲ技師も神戸に到着、ひとまず東京支社へ到着し、1937年（昭和12年）1月4日に、東京支社のヘルスゲン技師を同道して電気局に出頭挨拶された。いよいよ据付組立に着手したが、最初に難関にぶつかった。電気科学館のしかも6階の天象館内へ搬入するのが大変だったのである。つまり、プラネタリウムの主要部分は既に組立られており、そのままの姿で送られて来たので、そのまま搬入しなければならない。重さが1トンもあり、非常にデリケートな構造で、寸法の関係で階段を使って持ち上げることができず、窓からも搬入の方法がない。

窮余の一策として、貨物用エレベーターを利用し、エレベーターゲージの下部に頑丈に結び付け、エレベーターシャフトを通じて引き上げたのである。

操作にちょっとでも無理があれば、立ちどころに破損の危険があり、派遣技師や三井物産技師の立ち合いで、徹夜の作業によって無事搬入が終わって、関係者一同胸を撫で下した次第であった。それ以来、毎日午前9時から午後6時まで、両技師の懸命の組立作業が始まった。毎日、宝塚ホテルから弁当持参で天象館に立てこもり、一切外との交渉を断って40日間、2月20日組立調整が終り、その後試運転の後、1937年（昭和12年）3月1日に大阪市の検収を完了した。

建物建設費	1,130,000 円
機械器具費	570,000 円
(プラネタリウム購入費	459,335 円)
備品費	240,000 円
合計	1,940,000 円

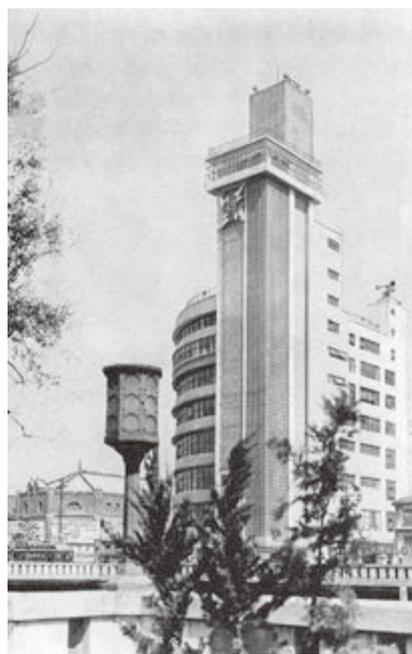


図 3.7 大阪市立電気科学館

我が国に未だ例を見ない電気の啓発を主眼とした、東洋で最初のプラネタリウムを持った科学館のオープンとあって、そのPRを十分に配慮してつぎのような日程で会館披露が行われた。

- 3月2日 市政記者招待
- 3月4日 東久邇宮稔彦王殿下御観覧
- 3月5日 本市市会議員並びに名士特別招待
- 3月7日 東亜天文学会臨時総会
- 3月11日 開館式 招待者名士 900名
- 3月12日 市内小・中学校長（午前中）  
月額100円以上の電気需要家（午後）
- 3月13日 一般公開

開館と同時に、新聞報道などで大変期待していた一般市民や学生生徒が殺到した。それまで十分準備訓練をしたつもりであった係員もその誘導、整理、案内に面食らったのであった。

この大阪電気科学館のプラネタリウムは、先にも述べたように、ドイツ カール・ツァイス社の第25番目のもので、ツァイスII型と呼ばれるものである。



図 3.8 プラネタリウムの投映風景（絵葉書より）

このプラネタリウムでは、太陽や星々が毎日東の地平線から出て西の地平線に沈む日周運動や、太陽が星空の中を1年かけて西から東に動いて行く太陽の年周運動、天の北極が約2万6千年の周期で移動する歳差運動も、わずか2、3分の短時間で再現される。北極から南極までの大旅行も止まることなく1、2分で終了することができる。また、北極や南極付近で起こる1日中太陽が沈まない白夜、1日中太陽が昇らない闇夜の現象、その他一般の人々がなかなか目にする機会のない種々の天文現象を心行くまで鑑賞できる。このように、短時間の観察は天文学の知識を豊富にするという点で、大自然を何年もかかって観察した以上の効果を挙げる事ができる。私たちが目で見る事が出来る恒星の数約9千、その他、銀河、星雲、変光星ミラ、アルゴル等、昼夜の別なく、天候の如何にかかわ

らず大自然の驚異を見ることができる。

大自然の現象は多岐に亘るので、1回ですべてを解説することができない。そこで、月ごとに投映のテーマを決めて解説するようになっている。

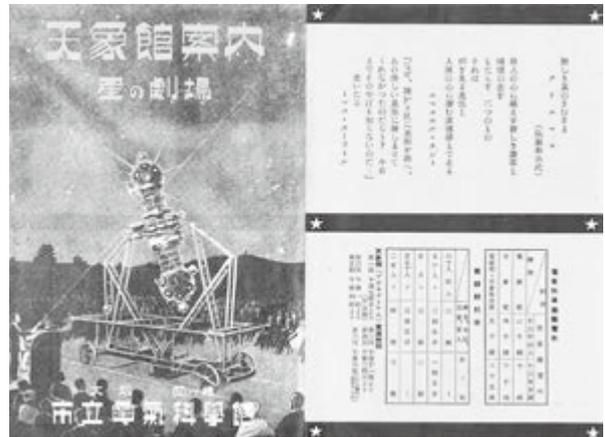


図 3.9 昭和15年のリーフレット

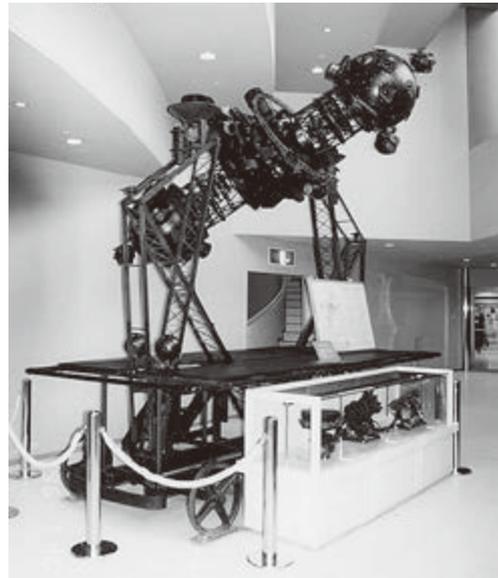


図 3.10 大阪市立科学館に展示されているツァイスII型

このツァイスII型のプラネタリウムは、1989年に閉館するまでの52年間活躍し、多くの市民に親しまれた。

2000年（平成12年）12月12日に大阪市の文化財に指定され、現在は、世界に3機しか残っていない貴重な1機として大阪市立科学館に展示保存されている。

## 3.2 東日（毎日）天文館のプラネタリウム

1880年（明治13年）12月24、5日頃、福沢諭吉が大隈邸を訪ね、大隈重信、伊藤博文、井上馨に迎えられた。そして、今度、政府で公報のような官報のよう

な新聞を発行するから、引き受けてもらえないかと言われた。何か下心があるに違いないと考えた福沢は、即答を避けてその日は帰った。

翌1881年（明治14年）1月のある夜、福沢は改めて井上邸に断りに出かけた。そして、「今更政府が現状のままで新聞を出しても何の意味もあるまい」と述べた。すると井上は、「政府もいよいよ国会を開設する決心を固めた。我々3人が積極的に推薦し、近いうちに開きたい。そして、一旦開設した暁には、例えどのような政党が現われても、民心の多数を得た党であるならば政権を譲り渡す」と秘密を明かした。それで福沢は、これは近頃おもしろい話だ、そんなことなら考え直して新聞を引き受けようと約束して帰った。

その後、福沢は、着々と準備を進め待機していたが、新聞の件は少しもはかどらない。それどころか、発起人の大隈、伊藤、井上の3人の間が微妙な雲行きとなり、その果ては、大隈が辞職することになり新聞発行の計画も頓挫してしまった。



図 3.11 福沢諭吉 (1835-1901)<sup>(6)</sup>

しかし、政府系新聞を作るために、既に記者や印刷機械などを準備していた福沢は、慶應義塾が独自に新聞を発行することにした。それが、時事新報である。「専ら近時の文明を記して、この文明に進む所以の方略事項を論じ、日新の風潮に遅れずして、これを世上に報道せんとす。」というのが紙名の由来である。

ところが、関東大震災で被災した後は、業績が悪化し部数も低下する。1932年（昭和7年）、鐘淵紡績の社長だった武藤山治が社長になると、1934年（昭和9年）1月から連載した「番町会を暴く」シリーズは、財界の不正を糾弾し、帝人事件にまで発展する。その中、武藤が帝人事件の疑惑を報道した直後の3月9日、鎌倉の別邸を出たところで暴漢に銃撃され翌日死亡した。これによってシリーズが終了し、時事新報の

前途はますます厳しいものになった。

その後、慶應義塾出身で東京日日新聞の高石眞五郎に経営肩代わりの話が来る。しかし、高石は東京日日新聞の経営自体が傾いた時期でもあり、これを断る。その代り、東京日日新聞の社外役員でもあり、大阪で夕刊大阪新聞や日本工業新聞を発行していた前田久吉を推薦する。そして、1935年（昭和10年）11月から前田久吉が専務となって経営に当ることになった。

ところが、翌、1936年（昭和11年）2月26日に、「二・二六事件」があり東京朝日新聞社では活字ケースをひっくり返されるというようなことがあった。しかし、時事新報社の方はこれといった被害はなかった。

その後、前田がいろいろやった結果、幸いにも発行部数はやや増えてきたし広告もいくらか増収になった。



図 3.12 前田久吉 (1893-1986)<sup>(7)</sup>

しかし、それでもまだまだ、支出に対し収入が少ない。何とか収入を増やしたいと、天象儀（プラネタリウム）の設置を計画したり、小学生新聞を出したり、いろいろ苦心したので相当の効果を上げた。この苦心が酬いられ1年近くになると、ようやく収支のバランスがとれるようになり、立て直しの見込みがついてきた。そこで前田は、初めからの約束通り、300万円の増資を株主総会に持ち出した。ところが、株主の間に大きな意見の相違が生じ、大波乱が巻き起こる事になったのである。つまり、時事新報には福沢諭吉以来50数年の伝統を誇る、三田の慶應義塾出身の役員や大株主など強者が多くいた。そこで、立直りの兆しが見えてきたので、これを機に時事新報の経営を外来者に任せず、自分達でやろうとする人達。それと、もし、一部の人の言動によって経営者が代わるようなことがあれば、再び経営不振に逆戻りしてより以上の最悪の事態になることは目に見えているとする人達。その双方が、激論に激論を生み、遂に株主総会は解散を決議

してしまった。

そこで、前田はいさぎよく時事を去ろうと思っていた。ところが、再び予想もしなかった難関に立たされることになる。今度は、恩義ある人に是非頼むと言われ、時事解散の仕事を受けることになったからである。前田は、解散にあたり最も難しいのは、社員の退職慰労金の問題と、これまで山積みされた負債の整理と決心した。そして、1936年（昭和11年）12月24日の最後の株主総会に臨む。そして、翌25日の朝、不安と緊張の漂う中、「株主総会の決議により解散——。」と告げたのである。

退職慰労金は、規定通り支払っても50万円もあればと考え、時事の後援者などあちこち奔走し、25日までに用意した。そして、26日の早朝から支払の準備に取りかかった。ところが、当時50万円と言えば相当な大金だったし、それに大勢の社員だったので会計の方が思った以上に手間どり、懸命にやっているのだが計算があまり捗らない。その内、とうとう短い冬の日は暮れてしまった。社内いっばいに詰めかけた社員は、支払いが遅れば遅れるほど騒然としてくる。夜遅くなると一層険悪になり、社内は蜂の巣を突つたような大混乱で、バカヤロー、もっと金をだせ、スローモーなどと罵声が飛び交う始末だった。

前田は、机の上に駆け上がり、懸命に説得にあたる。その内、夜が更けて、騒ぎがいくらか静まり、話しができるようになる。そこで、争議側から代表が出て交渉が続けられ、更に25万円の退職慰労金の追加要求が出された。前田は、解散によって明日から職を失う人達のために、できれば要求を受け入れたいと思っていた。そして、交渉の合間に車で出かけた。

そこで前田は、毎日新聞の奥村信太郎と高石真五郎に会った。時事を毎日と合同する形で預け、同時に小学生新聞の発行、天象儀（プラネタリウム）の設置、音楽コンクール、大相撲優勝額贈呈などの事業計画も引き継ぎ、代償として25万円の支出を求め、これを退職慰労金の追加分に充てたいというのが前田の腹案だった。高石は、「25万円、時事の葬式代か」と笑ったが、前田は、「いやいや、婚礼の結納金だ、悪い話じゃないから一番に持って来た」と笑って答えた。こうして退職慰労金の追加分25万円は用意ができ、その分配方法についてもいろいろあったが、ようやく1937年（昭和12年）の元旦になって分配案が決まり、翌2日から退職慰労金の追加分も、滞りなく配分された。

1937年（昭和12年）4月、毎日の東京社屋が拡張の必要に迫られ、新社屋を建築することになった。そのための新会社に東日館（後の毎日館）を創設、資本

金120万円、そのうち60万円は毎日が受持ち、残り60万円は前田が引き受け、その他いろいろの方からの出資と借入金80万円、合計200万円で3,600坪（地下1階地上8階）の建築にかかった。そのようなことで、前田も大株主になったので、1938年（昭和13年）9月、毎日の取締役役に就任することになった。

一方、東日館の建築であるが、これは別会社だから、社長に奥村信太郎、専務取締役の前田が就任することになり、鋭意、建築を進めていたが、この建築中に前田は時事解散の時に劣らぬ大問題に遭うことになる。この時には、日華事変が始まっていて、戦火は日増しに拡大する一方だった。統制経済が強行され、物資の節約がやかましく言われ、不急の計画はすべて中止させるという政府の方針だったから、東日館にも建築中止命令が下って来た。しかし、建築資材は全部購入済みで、天象儀（プラネタリウム）設置の準備も出来ている。有志者から出資を仰いで一旦建築に取りかかり、それも半ば進んだ今、おいそれと中止するわけにはいかない。そこで、前田は当局に出向き折衝を続けたが、軍部の後押しで政府の鼻息は荒い。「国家の法が不急と認めて中止を命ずるのだ、国策である。国民として国策に応じないとは言えないだろう。」という。しかし、前田も屈してはいられない。「この建築が中止になれば屋上の天文館もできない、天象儀（プラネタリウム）の設置により、その使命を十分に発揮させることが、国策に順応するのではないか。既に準備もできている、特に新聞活動に絶対必要な建築である、資材も全部購入済みで新しく買い入れるものはない、再考の上、是非、承認願いたい。」と主張する。しかし、今度は政府が相手だから容易ではない。こうして、政府、特に大蔵省の官僚との折衝が延々と続いた。「こっちの方針を聞かんのなら引っ括ってしまえ」と言う声も聞かれた。しかし、政府の出方一つで東日館の運命が決まるので、前田は、日々勝負のつもりで当局に出かけて行く。前田は、信念と熱意だけを見方に、承認されるまで通いつめるつもりであった。そして、とうとう前田の熱意に負けたのか、「君も強情な男だ——」と苦笑し、特別に建築の継続が許されたのである。

こうして、1938年（昭和13年）10月、近代式コンクリート、地下1階、地上8階の建築が竣工した。

新社屋の地下1階はニュース映画、地上は新聞関係、貸室にあて、8階、屋上には天文館を開設、学界、教育界、一般人のための天体運行の研究に寄与しようとしたものである。これは、前田久吉が時事時代に、何とか収入を増やそうと小学生新聞とともに考えたもので、いわば時事合同のお土産だったので、特に力を



図 3.13 竣工した「東日会館」<sup>(8)</sup>

入れたものである。この天象儀（プラネタリウム）は、その前年、大阪の電気科学館に設置されただけだったので、人々の注意を引き、最初の1年間に入場者百数十万人を数えるほど盛況だった。

東日会館が竣工したのは、1938年（昭和13年）の10月だが、東日天文館がオープンしたのは、翌月の11月3日のことである。プラネタリウムの入場料は、大人が50銭、小人が25銭で、その他、団体割引などがあった。



図 3.14 東日天文館のリーフレット

当時、天文少年たちは、入口の売店で20銭の小冊子を争って買い求めたそうだ。



図 3.15 20銭の『星と宇宙とプラネタリウム』

図 3.15 は、1938年（昭和13年）11月3日に、東日天文館が発行した『星と宇宙とプラネタリウム』という小冊子である。著者の鈴木敬信は、1905年（明治38年）5月12日の生まれで、一般に「けいしん」と呼ばれているが、本当は「たかのぶ」と呼ぶのが正しい読み方である。青山学院中等部の出身で、1939年（昭和14年）に東京大学天文学科を卒業すると、上野の科学博物館の主任研究員となった。そして、東日天文館の委託として出向し、プラネタリウムの計画段階から組立作業、学芸員の指導・訓練まで一人で担当した。その後、東日天文館は「帝都の新名所」として天文知識の普及を果たすことになる。

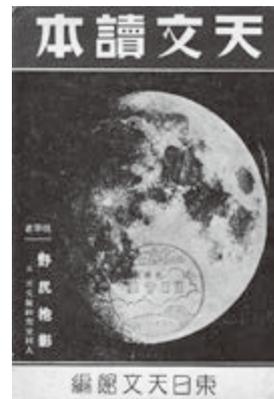


図 3.16 30銭の『天文読本』

翌1939年（昭和14年）から、解説者として野尻抱影が参加することになる。図 3.16 は、1938年（昭和13年）11月30日に、野尻抱影が、鈴木敬信の前述の小冊子に対抗して発行した小冊子である。やがて野尻抱影は、日曜日の小学生向けの解説を担当することになるが、鈴木敬信は「爺さんが来てやり難くなった」とつぶやくようになったということだ。

解説の秋山は、音楽院の出身で、毎回いろいろなレコードをかけ、解説が始まってまだ明るい間は、地平線をめぐる風景の黒いシルエットを、ポインターの赤い矢で指しながら「愛宕山の名残のアンテナ…」とか言いながら説明し、皇居の上にかかる「かしこくも大内山の…」と言って、ここだけは矢印を横にしたということだ。

この東日天文館のプラネタリウムも、大阪の電気科学館と同じ、ツァイスⅡ型のプラネタリウムである。ドームの直径は20mで、床からドームの天辺までは18m、座席も400席はあったのではないかとされている。

しかし、残念ながらこのプラネタリウムは、1945年（昭和20年）5月25日夜の東京空襲で惜しくも焼失した。



図 3.17 東日天文館のプラネタリウム (絵はがきより)

### 3.3 天文博物館五島プラネタリウム

1943年(昭和18年)、東京急行電鉄は、東京市立渋谷小学校が移転したのを機に、その敷地を譲り受け残っていた木造校舎を本社分室として使用していた。1945年(昭和20年)に空襲で全焼すると、戦後バラック作りの渋谷第一マーケットが開設されるが、明治通りの拡張に伴い、敷地の増減を経てその後敷地が確定する。1955年(昭和30年)8月から、渋谷駅として東京急行電鉄が建設を開始した東急文化会館は、生活文化の向上を目的としたいろいろな企画を持っていた。



図 3.18 東京急行電鉄会長 五島慶太 (1882-1959)<sup>(9)</sup>

東日天文館のプラネタリウムが戦災で焼失してから10年、東京にプラネタリウムの再建を望む声が各方面から届けられたが、いずれも実現しなかった。そこで、かねてから東京にプラネタリウムを建設することに関心を持っていた有志の人々が、学術会議会長の茅誠司、東京天文台(現:国立天文台)台長の萩原雄祐、国立科学博物館長の岡田要の3氏を中心とした東京プラネタリウム設立促進懇話会の名で、東京急行電鉄会長の五島慶太に文化会館内に是非プラネタリウムを設置されるよう要請した。

五島は、この申し入れに多大の理解を示し、極力研究する旨回答したが、既に工事が進んでいる文化会館

にこの新しい企画を加えることは多くの困難があった。既に決定した設計に大きな変更が生じること、地上30mという制限のある建物の屋上に、さらに半球状の大きなドームを載せることが果たして可能かどうかなどである。しかし、このような問題も関係者の努力で逐次解決していった。このころ結成されたプラネタリウム設立準備委員会は、東京急行電鉄の幹部をはじめ、各界の協力者を含めその後の計画実行に当たった。



図 3.19 広瀬秀雄



図 3.20 古畑正秋

天文関係では、東京大学天文学教室の鍋木政岐、藤田良雄、東京天文台の広瀬秀雄、古畑正秋、野尻抱影、国立科学博物館の朝比奈貞一、村山定男などである。

この委員会が直面したのは、プラネタリウムの機器のどれを選ぶかということだった。戦後、東西に分かれたドイツは、両方にツァイス社があった。また、アメリカには、サンフランシスコのモリソン・プラネタリウムヤスピッツ社などがあった。また、どの製品が最も信頼ができるのか、輸入は可能か、国産は可能かなどの問題もあった。こうした問題を慎重に検討した結果、西ドイツのオーバーコッヘンにあるツァイス社から購入することにした。そして、文化会館のオープンが1957年(昭和32年)12月に予定されているので、プラネタリウムの開館を1958年(昭和33年)の4月と決定した。

また、このような公共的、教育的な事業を健全に運営するには、新しく独立の財団法人を設立して、博物館法の適用を受ける天文博物館とした方がよいとの意見があったのでそうすることにした。こうして、プラネタリウムの設置が確定したのは、1955年(昭和30年)11月であった。また、プラネタリウムの購入費約7,000万円の巨費を、この法人に寄付をするという五島会長の名を記念して、このプラネタリウムを“天文博物館五島プラネタリウム”と呼ぶことに決定した。

いよいよプラネタリウムの設置が現実になると、ますます問題が多くなった。天文博物館としてふさわしい運営をするためには、プラネタリウムの設備の他に、多くの付属設備や参考資料を整備しなければなら

ない。これらの技術的な問題は、設立準備委員会を中心に計画が練られ実行された。いくら優秀な設備であっても、それを運営するのは人であるから、人選には大いに努力が払われた。その結果、多年東京天文台（現：国立天文台）に奉職され、天文知識の普及に努力された経験のある水野良平を、同館の学芸課主任として迎えることにした。また、プラネタリウムや展示物の解説、その他技術的なサポートをする職員も数名選ばれた。

こうして、1956年（昭和31年）末には、予定通りプラネタリウムが出荷されたが、折悪しく起こったスエズ問題のため運河が通れず、ケープタウンを回らなければならなくなったにもかかわらず、プラネタリウムを積んだドイツ船ハーフェルスタイン号は、1月下旬無事横浜港に入港した。

一方、財団法人天文博物館五島プラネタリウムの組織は、12月1日に正式に発足し、理事には学会から茅、萩原、岡田、鍋木、野尻の諸氏が就任された。

今回輸入されたプラネタリウムは、西ドイツのオーバーコッヘンのカール・ツァイス社で作られたもので、ツァイスIV型の1号機といわれるものである。これまでのものよりも改良や工夫がこらされており、日周、年周、歳差などの各運動系もより合理的なものに改められている。恒星を投映する原板も、銅板に穴を開けたものからより耐久性のあるクロム板に換えられている。さらに、恒星の明るさは、星の大きさで表していたが、今回は特に明るい恒星を別投映にして、明るさを増す方法がとられており、特徴のある色を持った恒星には色をつけている。さらに、月の像も明るくなり、表面の模様も表されている。

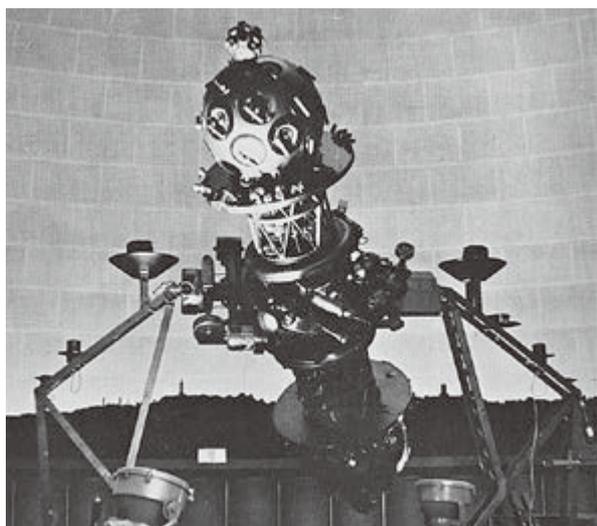


図 3.21 設置されたツァイスIV型プラネタリウム<sup>(10)</sup>

ところで、今回のプラネタリウムの垂鈴型をした恒星投映機と惑星投映機との間に、つばのようなものが

ついている。これは、別投映にした明るい恒星の投映機や小さな数多くの投映装置がつけられたためである。因みに、ドームの直径は20m、座席数は454席である。

また、プラネタリウムドームの外側には、天文博物館の資料としていろいろな模型や展示品が飾られており、周囲の壁にはパロマ山やウィルソン山天文台で撮られた、美しい天体写真のカラーコルトンが掛けられている。

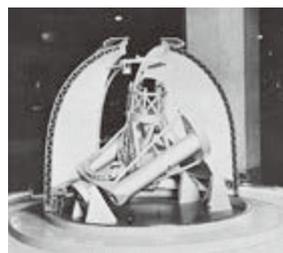


図 3.22 二百吋反射望遠鏡<sup>(11)</sup>



図 3.23 シーロスタット<sup>(12)</sup>

さらに、自慢の一つは、陳列室の一隅に設けられたシーロスタット望遠鏡である。この装置は、屋上にあるドームの中に収められたシーロスタットで取り入れた太陽の光を、8階の部屋まで垂直に立てられた15cm屈折望遠鏡で導き、すりガラスの窓に、直径50cmの太陽像を投映するものである。この装置は、日本光学製で、夜間は接眼部から月や惑星などを覗くことができ、また、太陽のスペクトルを展示する分光器などの附属品も計画された（図 3.22、3.23）。

#### 画像の出典

- (1)～(4)「電気科学館に十年史」大阪市立電気科学館 1957.
- (5)「大阪市立電気科学館 50年のあゆみ」  
大阪電気科学館、1987.
- (6)「福翁自傳（全）」 時事新報社、1899.
- (7) 前田久吉著「新聞生活四十年・日々これ勝負」  
創元社、1953.
- (8) ZEISS Archiv
- (9)～(12) Guide to the GOTOH PLANETARIUM  
and ASTRONOMICAL MUSEUM.

#### 参考文献

- ・「星と宇宙とプラネタリウム解説」 東日天文館、1938.
- ・「天文讀本」 東日天文館、1939.
- ・石田五郎著「野尻抱影 聞書“星の文人”伝」  
リプロポート 1989.
- ・「東京大学 東京天文台の百年 1878-1978」  
同編集委員会 1978.

## 4 | 国産プラネタリウムの誕生

これまで、わが国に輸入された大阪市立電気科学館、東京有楽町の東日天文館、東京渋谷の東急文化会館のプラネタリウムについて述べてきた。実際の空で起こるさまざまな天文現象を、実際の空さながらに、しかも短時間で再現して見せてくれるプラネタリウムは、天文宇宙の学習に非常に有用な装置である。

しかし、それらのプラネタリウムを学校の授業や、大人の生涯学習に利用できるのは、東京や大阪の大都会に住む人々に限られていた。そこで、地方の子供たちにもそのような経験をさせたいと考えた人々、例えば学校の先生や教育関係者、町の機械好きや発明家、光学関係の企業の経営者などが、ツァイスのプラネタリウムとまではいかないが、簡易的なものが安価にできないかと挑戦する者が現われた。

### 4.1 江上式プラネタリウム

京都府宇治市の江上賢三は、模型作りが高じてブリキを切ったりつないだりしていたが、18歳の頃から、科学、特に神秘的な宇宙に魅かれていった。



図 4.1 江上賢三<sup>(1)</sup>

江上は、大阪の電気科学館にプラネタリウムができると、その影響からか毎晩星を眺めるようになり、星座をおぼえようと本屋に行く。当時、本屋には天文書などほとんどなく、ただ一冊 小森幸正著の『星座行脚』があっただけだった。江上は、それを買ってポロポロになるまで何度も読んだ。

そうこうしている間に、今度は望遠鏡が欲しくなる

が、望遠鏡はとても高く手が出ない。自分でレンズを磨くにもその方法が分からない。結局、望遠鏡は諦めて、プラネタリウムを作ろうと考える。

教員だったことも影響して、子供たちに宇宙の神秘と天体の美しさを是非伝えたいと考えたのだった。因みに、江上が教員になったのは、ちょうど大阪電気科学館のプラネタリウムができた1937年（昭和12年）であった。

江上は、教員になってしばらくした1942年（昭和17年）、空き缶のブリキとカーテンレール、虫眼鏡で幻灯機（スライド投映機）を作った。そして、星は厚紙に大きさを変えて穴をあけ、1等星、2等星、3等星・・・と区別し、赤い星には赤いセロハン、黄色の星には黄色いセロハンを貼って星座ごとに何枚も作った。また、星の神話や伝説は、セロハンや黒い紙を切って物語の絵を作り投映した。江上は、子供たちが喜ぶのを見て自信をつけ、今度は空全体が映せるものを作ろうと考えた。しかし、そんな江上にも赤紙が来て、江上式プラネタリウムが出来るのは戦後になってからである。

1947年（昭和22年）、当時録音用に使ったアルミのレコード盤に穴をあけて星の原板を作り、時間とともに星が動くように歯車を使って、手動で回転するようにした。星座の絵は、別投映にして重ねるようにしたが、黒ラッカーを塗ったガラスを千枚通してひっかけて絵を描くのは大変だった（図4.2）。南北の半円形の空と、薄明、夕焼、朝焼、星座絵、星空の回転と随分進歩していた。そんな時、島津製作所から製品化の話が来た。

そこで、回転にはモーターを使い、星の原板はスライド式にした。そして、初期型が1950年（昭和25年）に島津製作所から「星座投映機」として発売された。



図 4.2 別投映にして重ねた星座絵<sup>(2)</sup>

江上は、特許をとってから再び改造し、BGMの音楽も流れるようにした。そして、1953年（昭和28年）、江上式プラネタリウムは、「島津製Ⅱ型星座投映装置」（図4.3）という商品名で発売された。

戦後、教育施設がほとんどない頃で、理科の実験なども学校ではできない。そこで、共同で実験したらどうかということになり、今の理科センターの前身となる科学教室を作った。

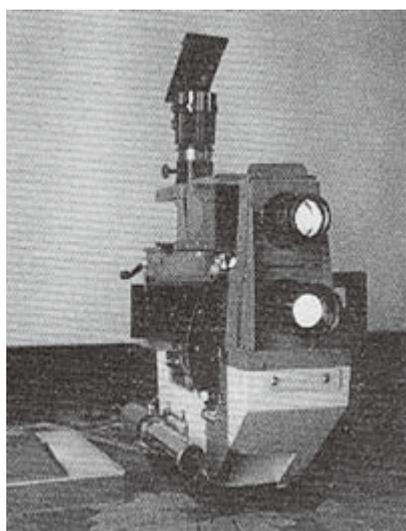


図 4.3 島津製Ⅱ型星座投映装置<sup>(3)</sup>

そして、小学校の高学年と中学生を集め、電気や機械、天文の実験や観察をさせた。

江上は、飛行機の格納庫に使っていた大きな建物に、一度に200人ほどの子供を入れて、天井から床まで5mもある大きなスクリーンを作り、江上式プラネタリウムを使って天文解説を行った。そのようなことが評判となり、あちこちからお座敷がかり、移動天文教室も開くようになった。ぼろぼろの自動車を手に入れ、江上式プラネタリウムと望遠鏡を積んで、丹後の方まで巡回に出かけた（図4.4）。子供たちが非常に喜んでくれるので、それを聞いた隣の学校が、うち



図 4.4 江上賢三の移動天文車<sup>(4)</sup>

にも来てくれと依頼してくる。当時は、プラネタリウムはめずらしく、先生も知らない人が多い。子供たちに説明するとき、「これは、プロネタ…何とかという機械で、今日は昼だけど星を見せていただくんじゃ！これは映画とは違う、でも幻灯でもないんや」、そして子供が「ほんなら、何や？」という。「そら、見たら分かる」と先生が答える。当時は、そんなものだった。

江上賢三のこのような活動は、1969年（昭和44年）に京都市青少年科学センターができるまで続けられた。

## 4.2 桐蔭式プラネタリウム（図4.5）

先に紹介した江上式のプラネタリウムは、大型の平面スクリーンに半円形の星座と星座絵などを投映するだけのもので、プラネタリウムというよりは、むしろ星座投映機だった。

これに対して、桐蔭高校の天文部教官だった山本達郎が、部員とともに製作したプラネタリウムは、小さいとはいえ直径が3mのドームに投映するもので、恒星はピンホール投映式であるが、特に太陽や月の運動の再現に工夫をこらした、正にプラネタリウムといえるものであった。そこで、ここでは山本達郎と部員たちのプラネタリウムがどのように製作されたのか、その経緯と構造等について述べておく。

当時はまだ、ツァイスのプラネタリウムは世界でも20数台で、東洋では大阪市立電気科学館の1台だけだった。そこで、山本たちは、なるべく簡易で安価なしかもプラネタリウムの機能をそのままか、それ以上に発揮するような、虫のいい機械を作りたいという野望に燃えていた。そして、1948年（昭和23年）8月頃から10名の部員の協力の下に、設計試作にとりかかった。その機能と構造は以下の通りである。

まず機能であるが、この簡易プラネタリウムで投映できるのは、6等星までの恒星（明るい星のみ色付）、天の川、自動的に年周運動を行う太陽、自動的に月周運動を行う月、惑星、彗星、流星群、黄道光の諸天体、および補助投映機として、昼光、朝焼け・夕焼け、明るさが太陽の光度に応じて自動的に変化する薄明、赤道、子午線、黄道、年月日および時刻、東西南北の方向などである。

つぎに構造であるが、図4.5を見ていただきたい。この図は、太陽の黄経が270°（夏至）、月の黄経も270°（新月）の日の正午、北緯34°の地点で設置されたものを東側から眺めたものである。

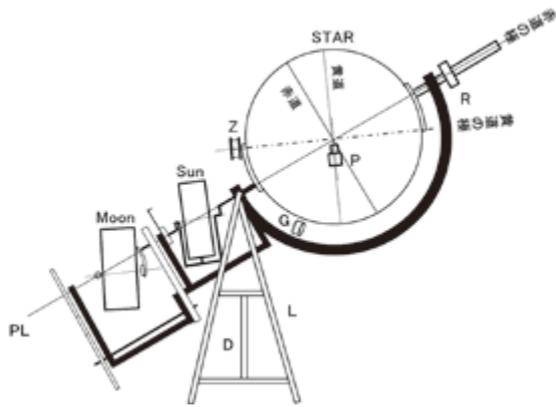


図 4.5 桐蔭式プラネタリウム第 1 号機

図中、P は惑星、G は天の川、Z は黄道光、R は赤道の各投映機、PL は日周運動軸、L、D は架台である。ただし、煩雑を防ぐため、子午線、黄道、昼光、朝焼、夕焼、薄明、薄暮などの投映機は省いてある。

このプラネタリウムの主要部分は、恒星投映機であるが、その構造は極めてシンプルで、直径約 50cm の球の表面に、シリウスの -1.6 等星から 6 等星までの星の位置および明るさに応じた約 5~6,000 個の穴が開けられたものである。

この球の中心には、フィラメントの小さな豆電球が入っており、その周囲をシャッターがモーターで回転し、星のシンチレーション（瞬き）および地平線付近の星の減光、赤色化を表すようになっている。なお、この光源は、ジャイロスコープと同様な方法で、常に水平に保たれ、地平線下は照らさない。

この恒星投映機の回転軸は、直接球面に取付けるのではなく、黄道の極の周りを回転すること出来る  $23^{\circ} 27'$  の腕の先端に取り付けてある。これは、天球の歳差運動を再現するためである。

天の川または黄道光の投映機は、透明のセルロイドの円筒の中心に光源を置き、セルロイド面をエナメルで天の川または黄道光の部分を残して塗りつぶしたものにすぎない。これには、重力で働くシャッターがついていて、地平線より下は自動的に隠れるようになっている。この装置は、それぞれ天の川の南極（赤経  $0h40m$ 、赤緯  $-28^{\circ}$ ）および黄道の南極に付いている。

惑星の投映機は、恒星投映機の黄道に沿って取付けられている。これは、恒星と同じ光源から出てきた光をレンズで収斂させた後、2 枚の平面鏡で反射させ任意の位置に像を結ばせるためである。また、いろいろな大きさの絞りや色セロハン紙をはさんで、惑星の光度や色に合わせられるようになっている。

太陽投映機の光学部分は、図 4.6 のように、日周運動の回転軸に対して  $23^{\circ} 27'$  傾いた a 軸の周りに回転

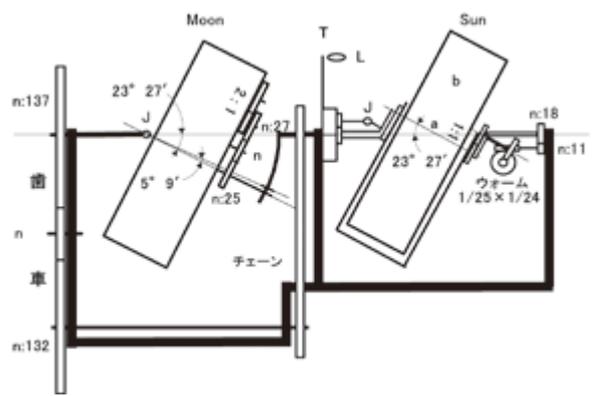


図 4.6 太陽・月投映機

するようになっている。そして、図に書いてある通り、18:11 の平歯車と 1:24 および 1:25 の 2 段のウォームギヤーで、恒星投映機に対して 3 回だけ逆回転するようになっている。つまり、366.24 恒星日に太陽が 1 回転年周運動をするのである。

この太陽投映機には、朝焼夕焼の投映機およびそれらの明るさを太陽の高度に応じて、自動的に変化するための抵抗器と、太陽が水平線以下になった時に消灯するための水銀スイッチがついている。

月投映機は、山本たちがプラネタリウムの製作中で最も苦心を重ねた部分で、これまで 4 回も設計変更をして作り直した。そして、月の運動で小さな不等性は一切省略して、月の白道上における月周運動と、18.6 年を周期とする対恒星交点逆行周期、即ち白道の極が半径  $5^{\circ} 9'$  の円を描いて回転する運動だけを扱うことにした。従って、月投映機の光学部分は、日周運動の回転軸から  $23^{\circ} 27'$  傾いた黄道軸に対して、 $5^{\circ} 9'$  の傾斜で回る白道軸の周りを回転するように取り付けてあ

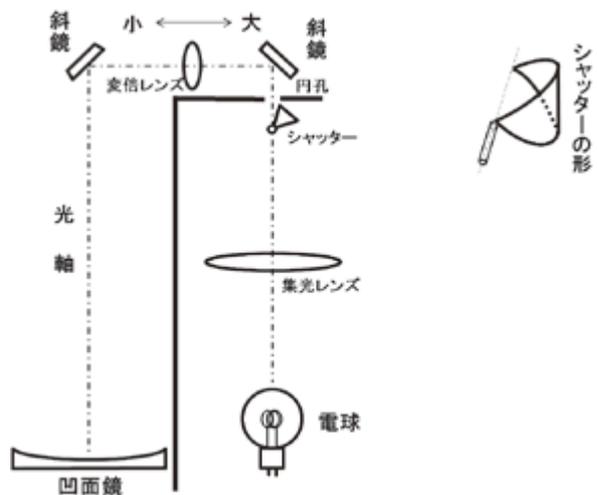


図 4.7 月投映装置の原理

る。ただし、18.6年の対恒星交点逆行周期は、周期が長いので自動で運動するようにはせず、投映の前に黄道軸に対する白道軸の位置を適当に調整するプリセット方式にした。

つぎに、月の白道上の運動は等速運動とし、恒星に対して、1恒星月 = 27.32166 平均太陽日 = 27.39646 恒星日  $\approx$  37.4 恒星日に1回だけ遅れる。即ち、月の平均回転速度は恒星に比して約  $26.4/27.4 = 132/137$  となる。この 132:137 の歯車の配置は図 4.6 の通りである。

月の満ち欠けは、後述のようなシャッターを用いて行う。1朔望月は 29.53059 太陽日であるが、この値は 1 恒星月 27.322 日  $\times$  27/25 = 29.507 日に非常に近いので、これを利用して恒星部分と月投映機の光学部分との差動に 27:25 の歯車を噛み合わせてシャッターを回すようにしてある。月のシャッターは、図 4.7 に示したように、耳かきのような形をしている。このシャッターが月の輪郭を表す円孔の前で回ると、円孔の一部がシャッターによって隠され、月の満ち欠けが起る。図からも分かるように、シャッターが 180° 回転すると、月の位相は満月から満月まで変化する。従って、実際の装置では前に述べた歯車の比に、さらに 1/2 の歯車を組合せなければならない。また、新月・上弦・満月・下弦・新月の順にするためには、多少の工夫をしなければならない。月の光学系には、図 4.7 のような非常に焦点距離の短いレンズを焦点深度を浅くするためと変倍のために入れてある。また、月が地平線よりも下に行った場合に、自動的に消えるように水銀スイッチが用いられている。

その他、プラネタリウムの機能を完全にするため、つぎのような補助装置がある。

- ① 彗星、② 流星群、③ 赤道・子午線・黄道、
- ④ 月日および時刻、⑤ 方向指示、
- ⑥ 運転モーター・逆転機・変速器、
- ⑦ スライド投映機、⑧ 指示器（ポインター）。

その他、電源は AC または DC10V、最大 50Amp、通常 10~20Amp である。停電時でも蓄電池 2 個で使えるので便利である。

また、投映用のドームは、直径 6m のもので一度に 50 名程が入ることができる。

このプラネタリウムの製作費は 2 万円程であった。

### 4.3 大西式プラネタリウム (図 4.8)

1951 年（昭和 26 年）の秋、大西道一が兵庫県立高砂高校 2 年生のとき、天文部の仲間と一緒に製作して

高校の文化祭に出品したプラネタリウムがある。

大西は、中学生のときの担任が元東亜天文学会会長の長谷川一郎（1928 年 - 2016 年）で、高校時代の天文部の親友が元明石市立天文科学館館長の河野健三で、子供のころからの大の天文好きである。

桐蔭式プラネタリウムは、太陽と月の運動の位置精度に重点をおいて製作されたプラネタリウムであった。それに対して、大西式プラネタリウムは、恒星の形と位置精度に重点をおいて製作されたプラネタリウムといえることができる。

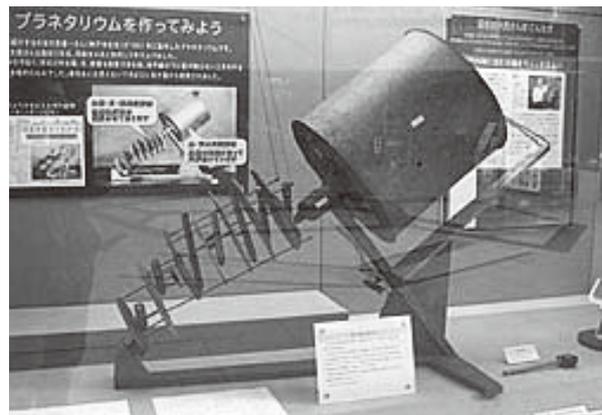


図 4.8 大西式プラネタリウム

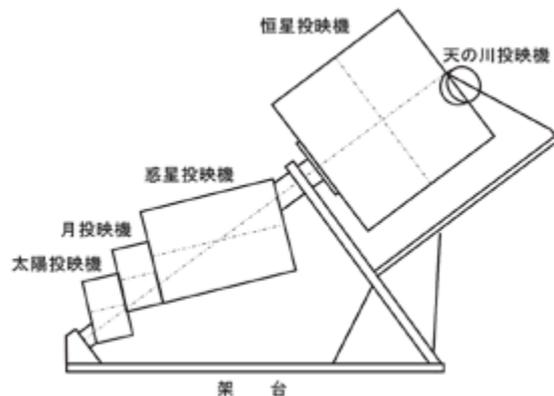


図 4.9 大西式プラネタリウムの説明図

恒星投映機は、直径 400mm、長さ 400mm のブリキ製の円筒形で、ピンホール投映方式のものである。そのため、そこに恒星の位置をプロットするために、画用紙に円筒の展開図を描き、それにメルカトル図法によって赤経と赤緯の線を引き、星図から 5 等星までの 2,400 個の星の位置をプロットする。つぎに、星をプロットした画用紙をブリキ板に貼り付け、その上からドリルで星の穴を開ける。星の位置をメルカトル図法によって決めているので、星の赤緯が高くなるほど星の形は赤緯方向に伸びた楕円形にする必要がある。そこで、星の赤緯のゾーンごとに、精密丸ヤスリ

で星の穴を修正する。つぎに、風呂場の湯の中で、画用紙をブリキ板から剥がす。その後、十分乾いた後ブリキ板を円筒形に半田付けし、その円筒に北極板と南極板を取り付ける。こうして、恒星投映機を組み立てた後、精密丸ヤスリを使って、円筒形の中心に向けて星の穴を再度修正する。



図 4.10 恒星投映機（冬の大三角形付近）

つぎに、星の等級の再現であるが、ポグソン (Norman Robert Pogson) の光度定義に従って正確に作られている。つまり、星の明るさを星の穴径で表すと、6等星の10倍の直径の星が1等星という理屈である。

また、恒星の電球は、恒星投映機の中心に設置されており、地平線より下に恒星が映らないように電球の下にはお椀のような遮光板がついている (図 4.11)。



図 4.11 大西式プラネタリアムの恒星投映用電球

つぎに、天の川投映機であるが、恒星投映機の北天の隅に取付けられている。天の川の形状は、ノルトン星図 (Norton's Star Atlas) の巻末に掲載されている「GALACTIC CHART」を参考に、透明のフィルムに天の川が白抜きになるように外側を黒く塗って描いたものである (図 4.12)。投映機の中央に設置された豆電球によって、行灯のようにピンホール投映される。

太陽・月・惑星投映機は、ツァイス型プラネタリアムのような円形の棚構造になっていて、自動的に年周



図 4.12 天の川のチャート

運動ができるように見える。しかし、年周運動はできず、太陽・月・各惑星の位置は、投映する日の位置に合わせて手動で設定するプリセット方式である。

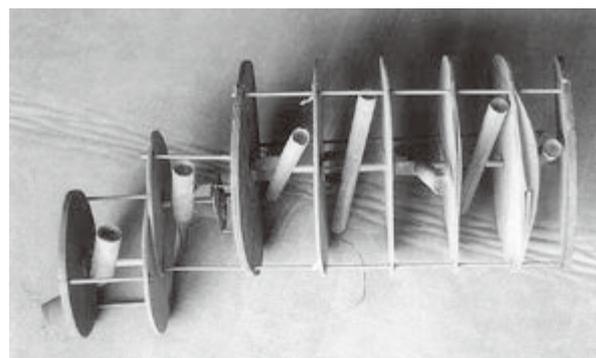


図 4.13 大西式プラネタリアムの惑星投映機

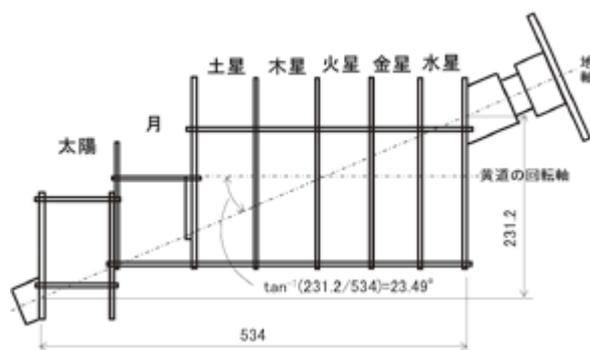


図 4.14 惑星投映機の説明図

また、惑星投映機は、地軸 (地球の自転軸) とは約 23.5° の角度をもって恒星投映機に取付けられている。さらに、惑星の軌道傾斜角が無視され、全て 0° に設定されているので、各惑星は黄道上を回転するようにパララックス補正されている (図 4.13、4.14)。

投映用のドームは直径が 5m で、竹で半球の枠組みを作り内面に新聞紙と模造紙を貼り付けて作ってある。

## 4.4 金子式プラネタリアム

終戦直後、金子功によって豊橋市に設立された向山天文台は、望遠鏡を購入する前に工作機械を揃え、観測機材の自作を行い、やがて、その工作力を発揮して

ピンホール投映式のプラネタリウムを製作した。それが、一時海外に輸出するまでになった金子式プラネタリウムである。

金子功は、子供の頃から天文に興味があり、旧制中学校の理科の教員をしていた時は、五藤光学の名器といわれたウラノス号という口径58mmの屈折望遠鏡を持っていた。それを使って、仕事のかたわら近所の人々を集めて星を見せながら、文化を語り社会を論じていたが、やがて郊外に土地を求めて天文台を中心とした文化施設を作りたいと考えていた。

戦時中は、航空局に勤めていたが、事務所が東京有楽町の毎日ビルにあったので、暇をみては毎日天文館のプラネタリウムを見に行った。しかし、乗員養成所が廃止になったのを機に教官を辞め、郷里の豊橋に帰った。戦時中の苦しい経験から、役所の支配を受けない自由な立場での文化活動を行うことを夢見るようになる。そして、その資金作りのために、ささやかな作業場を設けて、学校の理科実験器機などを製作するようになった。



図 4.15 金子 功 (1918-2009)<sup>(5)</sup>

豊橋市内から東の方に、向山という丘があり、その上に大池という池があった。その池のほとりに、600平方メートルの敷地があり、小さな住宅の建っている売り物があった。金子は、1948年(昭和23年)の秋、早速そこを買って移転する。そして、口径15cmの反射鏡の研磨を木辺成磨に依頼し、自慢の工作力を発揮して15cm反射望遠鏡を完成させ、スライディンググループの観測室に入れた。

こうして、一応建物が完成して活動をはじめたが、プラネタリウムの魅力は忘れられなかった。本格的なプラネタリウムは無理としても、やはり丸天井に映写できるようなものを作りたい。そこで考えたのが、レ

ンズ式のカメラの代用にピンホールカメラがあるように、レンズ式の投映機の代わりに、ピンホール式の投映機があってもよいだろうということだった。

早速、トタン板を15°ごとに切って溶接し、球に近い多面体を作る。この方が星図から星をプロットする時に都合がよいからだ。一番小さな穴を1mmとし、次第に大きな穴にする。最初は4等星までで、中心に乗用車用の小型電球を入れて試作第1号を完成させた。1950年(昭和25年)の始め頃のことだが、金子は「プラネタリウムというよりは星座投映機です。プラネット(惑星)なんて全然ないですから」と後に回想している(図4.16)。

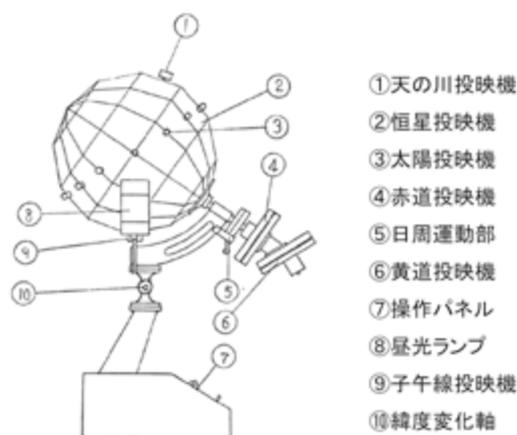


図 4.16 金子式プラネタリウム I 型



図 4.17 向山天文台の金子式プラネタリウム I 型<sup>(6)</sup>

1952年(昭和27年)頃、滋賀県の多賀神社の少し奥の方の豊郷学校に、布製の3.5mのドームを作り、備品として金子式プラネタリウムを納入した。おそらく、これが日本で学校に納入された最初のプラネタリウムである。これはおもしろいといって、滋賀県の学校に10台ほど売れた。

これが、滋賀県の「教材教具…」という本に取り上げられたので、全国から問い合わせが殺到した。そこで、金子は、1953年(昭和28年)頃、理振法(理科教育振興法)の改訂があったとき、その中にプラネタ

リウムを入れてもらおうと、当時の初等中等教育局長だった内藤誉三郎を訪ねて説明した。ところが、その頃最高の天体望遠鏡でも3万円だから、「3万円以下でないといかん」というわけで、理振法に天体投映機の名で入り、定価は3万円となった。

そこで、五藤光学や渡辺教具などでも天体投映機を作り、渡辺は天球儀に穴を開けて大量に売り出した。金子式天体投映機は、大量に作れないので中味を濃いものにした。金子と付き合いのあった理科機械を扱う店が、台湾と取り引きがあったので、台湾で2~300台売れた。説明書に「金子牌天象儀」とあったそうだ。

その後、金子は、日本にプラネタリウムのプームを作ろうと、8mドームでも使えるように機械を改良した(図4.18、4.19)。

恒星投映用の光源も、姫路に工場にあったウシオ電機に頼んでジルコンランプを作ってもらった。穴のあいた円盤状の極板があり、中心に極があって放電するが、火花が飛ぶので、星を投映するとシンチレーション(瞬き)が感じられとてもきれいだった。しかし、寿命が非常に短く使い物にならなかった。

結局、東京の小さなメーカーで、研究用の特殊電球を作っているところに、フィラメントの長さ1mmの電球を作ってもらって使った。定格2.5Vで寿命が数

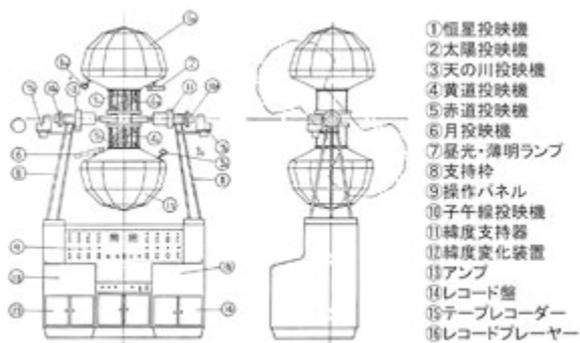


図4.18 金子式プラネタリウムII型

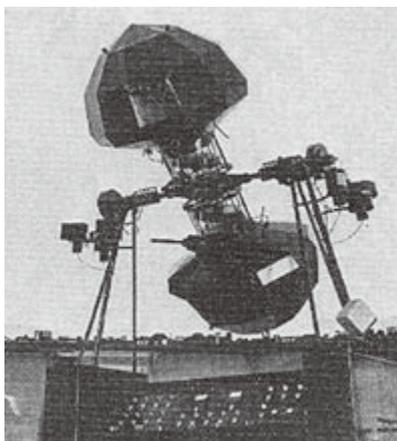


図4.19 8m用金子式プラネタリウムII型<sup>(7)</sup>

100時間あった。これによって、8m用のプラネタリウムを作ることができた。8mあればイスを入れても80人は入れた。

しかし、高すぎて学校には売れない。いろいろ考えたあげく、デパートなら新聞広告などの販促費で金子式プラネタリウムが購入できる。そこで、デパートに安いですよとPRした。その結果、熊本の大洋デパートが設置し、結構評判が良かったので、北九州市のデパートの屋上に作ることにした。結局、小倉と福岡の両方にできた。その後、横浜の高島屋、新潟のダイワデパートなど7台作られた。

ところで、金子は、プラネタリウムなどと勝手に自称していたが、本来ならプラネタリウムというのは、惑星が本物どおりの年周運動することから付けられた名前である。このような精密な投映のできない投映機を、プラネタリウムと名乗るにはいささか気が引けていた。そこで、新しく設計する機械には、太陽、月、惑星の年周運動の機能を付けようと考えた。

構造的に、惑星棚には恒星球を支えるほどの強度がないので、南天の恒星投映機の代わりに惑星棚を取付けることにした。そのため、南天の星座は南十字までとし、それより南は犠牲にすることにした。それでも、太陽や月と4大惑星を載せると長くなるので、4大惑星を一枚の棚に並べることにした。そのため、軌道板が小さくなり、離心率の大きい惑星は二枚使ったり、軌道傾斜にも苦心したが、何とか表現できるようになった。

## 4.5 信岡式プラネタリウム

1958年(昭和33年)、甲子園の阪神パークで開催された「朝日科学博覧会」に出品された、惑星運動機構付きのプラネタリウムがある。これは、大阪在住の信岡正典が作ったレンズ投映式の本格的なプラネタリウムである。

ミノルタプラネタリウムに多大な影響を与えた信岡正典は、1957年(昭和32年)11月19日の「毎日新聞」に“街の発明家”とあり“信岡モータース”とある。また1959年(昭和34年)5月17日発行の「週刊読売」には、“街の科学者”とあり“本業はオートバイ屋さん”とある。

しかし、1959年(昭和34年)5月17日発行の「サンデー毎日」によれば、信岡正典は、大阪に支店を20以上も出し、手広く商売をしているお菓子屋のお坊ちゃまで、父親は店の後継にしようと商業学校から

早稲田大学の経済学部に進ませた。しかし、商売より機械いじりが好きで、夜に下宿を抜け出し、夜間の工学部に通って機械の勉強をする。この間の月謝は、母親がこっそり送ってくれた。

ところが、機械熱はやがて飛行機熱に変わり、「五千円くれなきゃ家出する…」と母親をおどし、首尾よく千葉県津田沼の日本軽飛行機学校に入った。1936年（昭和11年）、大阪毎日新聞社に航空部員として入社、その翌年、深山重砲兵連隊に入営、やがて陸軍技術本部に移って、戦車、牽引車など車両設計を行った。

1943年（昭和18年）、ようやく召集解除となるが、家業のお菓子屋は戦時統制で閉店中だったので、大手を振って技術者として久保田鉄工所東京支店に入社した。しかし、間もなく仕事のことで重役と大喧嘩をし、頭をなぐって辞めてしまった。

やがて終戦となり、疎開先の滋賀県の田舎でくすぶっていたが、1947年（昭和22年）に大阪に帰る。目にうつるのはなげかわしい混乱とヤミの世相ばかりだった。

「いまの日本には夢がない。手も足ももぎとられた格好だ。若いときから好きな道楽の機械いじりばかりやってきた僕にも、何か一生の支えとなる夢が欲しい!」

信岡正典はオートバイの修繕でわずかに気をまぎらわせている合間にも、夜空にきらめく無数の星を仰いでつぶやいた。星は何もいわずに美しく輝いていた。そうして、頭にキラ星のようにひらめいたのは、ずいぶん前に電気科学館で見たすばらしいプラネタリウムだった。

「そうだ、死んだ弟の公（いさむ）が好きだった天文学の本に、プラネタリウムの写真がのっていたっけ。しかもドイツ製ばかりで国産は一つもできないと弟は嘆いていた。僕の方でプラネタリウムができないだろうか……」

よし、決めた。こうして、1949年（昭和24年）から本格的な研究を始めた。

知人の紹介で京大天体物理学の高木公三郎を訪ねて相談する。すると、大阪四ツ橋の電気科学館に行きなさいと紹介された。早速、行ってみると、機械に詳しい神田壹雄、戸田文雄と、整備員の岡本績が紹介され、自由に機械が見学できるように手配してくれた。

それから、「いきなりプラネタリウムは無理なので、まず日月食投映機、次に太陽系投映機を作って、メカを体得してはどうか」と言われた。すると信岡は、半年で日月食投映機を作り、1年で太陽系投映機を作り上げて来たという。

その後、信岡は千代田光学精工の協力を得て、つい

にプラネタリウムを完成させた。外観はツァイスのI型そっくりで、光学レンズを使った本格的なものである。それが、「千代田光学製ノブオカ式プラネタリウム」の名称で朝日科学博覧会に出品されたのである。

朝日科学博覧会は、その年いっぱい開催されたが、このノブオカ式プラネタリウムI型（図4.20）は、その後、福岡市箱崎字白浜の遊園地に移設された。



図 4.20 ノブオカ式プラネタリウムI型

## 4.6 興和式プラネタリウム

1958年（昭和33年）頃、日本にはツァイスの大型プラネタリウムが2台あるだけで、その他はみな簡易型だった。そこで、ツァイスの大型機の機能性能に勝るとも劣らないような、しかも安価なレンズ投映式のプラネタリウムを作ろうとした光学メーカーがある。

その会社は、興服産業株式会社というが、1946年（昭和21年）豊川の海軍工廠にいた人たちがまとまって入ってきた。常務の部長は、海軍工廠時代の光学部長だった。そこで、愛知県蒲郡市に工場を新設し、光学部門を創設した。現在の興和光学株式会社である。

それから12年目、工場棟も新築工事が完了し、当時最新鋭の機械設備も設置され、若い技術者も入ってきて、活気にあふれていた。プラネタリウムの開発が決定したのはそんな時だった。

全員でプラネタリウムの勉強をすることからスタートした。幸いツァイスの機械を詳しく調査することができた。そして、仕様を決め、設計に着手した。設計を担当したのは、入社2年目の大河内禎一である。

恒星投映機は、ツァイスと同じ2つの投映球に、16個づつ、合計32個の恒星投映筒を組み込んで、全天

の恒星を映し出すことにした（図 4.21）。恒星の数は、6等星まで4,000個である。まず、ドームの直径を10mとし約4,000個の恒星の原板上の位置を、星表からひろい出した数値を基に、1個1個電動計算機と三角関数表を使って計算した。その位置を正確に原板に写し込むため、一辺が4mの白板に原板の拡大図を描き、恒星の位置のところに明るさに応じた大きさの黒丸のシールを貼り付け、それを乾板を入れたカメラで撮影し、現像して定着後、恒星の丸以外のゴミの跡を、黒の塗料で塗り潰した。こうして出来た原板に、更にカナダバルサムを使って保護ガラスを接着して完成させた。

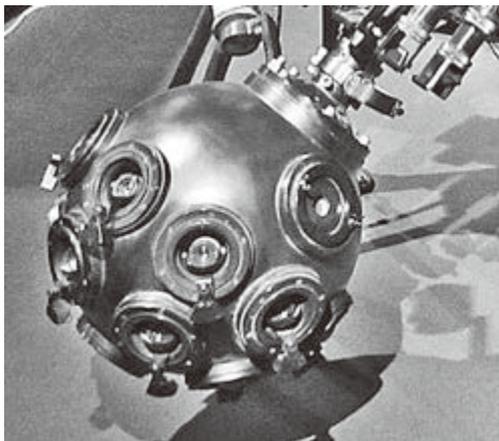


図 4.21 興和式プラネタリウムの恒星投映球

恒星投映筒にはバランスシャッターが付いていて、投映機がどのような位置になっても、恒星の光が客席に映らないようにしてある。このシャッターは、スムーズに動かず苦労した。

恒星以外の投映機は、太陽、満月、惑星、変光星ミラ、アルゴル、朔望月投映機が装着されている。天の川投映機は、レンズで投映すると鮮明すぎて感じが出ないので、フィルムを作成してレンズ無しで投映し、夜空の天の川に最も近いものを選んだ。薄明・薄暮の投映機も同様である。

赤道、黄道、子午線投映機は、何れも広範囲に投映する必要があるため、フィルム上の目盛を直接投映する方法をとった。北極点、南極点、および方位目盛投映機と歳差目盛投映機は、レンズを使い鮮明な像を投映できるようにした。

ドームは、直径10mの半球で、水平線までの高さは2m。シルエットは、ドームの壁面から10cm離れた位置に取り付けた。

本体は、離れた場所から遠隔操作できるようにした。つまり、日周運動、歳差運動、緯度変化運動は、それぞれ個別に操作でき、スライダックにより、1分間3回転～8回転まで無断変速できる。また、恒星、

変光星、薄明、薄暮投映機は、スイッチで個別に点灯消灯ができ、且つスライダックで全暗から徐々に明るく、また暗くできる。また、別のスライダックにより、シルエットの後ろの照明の明るさを調整することができ、薄明、薄暮の演出を引き立てられるようにした。



図 4.22 興和式プラネタリウム1号機

太陽、月、惑星、天の川、南北極点、方位目盛、歳差目盛、赤道、黄道、子午線投映機もスイッチで個別に点灯消灯ができる。恒星に対する太陽、月、惑星の位置は、投映機を手動で調整し自由に決められる。制御卓にはスライドプロジェクター、テープレコーダー、レコードプレーヤーを組み入れ、様々な演出ができるように考慮した。

こうして、興和式プラネタリウムの1号機（図 4.22）は、1959年（昭和34年）7月、蒲郡市三谷町の乃木山に設置された。若い技術者たちの汗の結晶であったが、機械の騒音、重量、寸法、採算性に不満があり、直ちに2型の設計に取りかかり、1年後にコンパクトで機能性能も劣らない、満足の行く製品を作り、その後、浜松市に納入された。

1969年（昭和44年）、アポロ11号が人類初の月面着陸の偉業を達成し、宇宙に対する関心も高まりつつあった頃、何故か興和式プラネタリウムは既に製造販売を中止していた。

## 4.7 ミノルタ式プラネタリウム

信岡正典が、ツァイスI型の原理を応用し、わが国向けに改造したプラネタリウムを完成させたのは、1957年（昭和32年）11月のことである。その時、19日付の毎日新聞は、“国産プラネタリウム誕生”のタ

イトルで大々的に報じた。

これを読んだ千代田光学精工会社の田嶋蔵三重役(社長の弟)は手紙を出して、信岡に「ほしいものがあればレンズでも何でも使ってください。会社としても応援しましょう」と、協力する意向を伝えた。

また、1973年(昭和48年)10月発行のミノルタカメラ株式会社の社史「45年のあゆみ」に、「1958年(昭和33年)10~11月、甲子園・阪神パークで実演したのが第1号機である。田嶋一雄社長は、かねてから宇宙探究の時代を予想し、1945年(昭和20年)軍需生産から民需産業への転換に際して、いち早くプラネタリウムの研究を技術者への宿題として課していた。たまたま街の発明家信岡正典がプラネタリウムの特許権を持っていることを知り、1958年(昭和33年)3月、同氏を囑託として招き製作指導に当らせた。こうして、終戦時以来の田嶋一雄社長の夢が緒につき、机上の研究は製品として具体化され、第1号機の登場をみるに至ったわけである。」とある。

しかし、このプラネタリウムは、信岡正典が1957年11月に完成させたものを、千代田光学の協力を得て改良したもので、千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムI型と称し、阪神パークで実演したものである。従って、千代田光学が最初に製作したプラネタリウムは、千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムS型で、後にII型(図4.23)と呼ばれたものである。しかし、このプラネタリウムは、信岡が「ノブオカ式星座投影機」と呼んだように、惑星がプリセット式で年周運動ができないものだった。

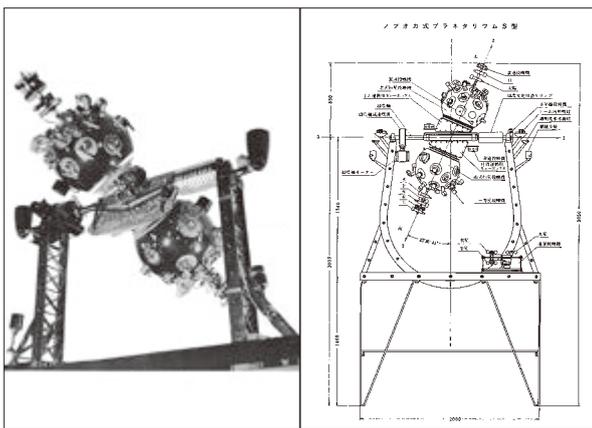


図 4.23 S型の写真と図面

ところで、I型には年周運動機構がついていたが、惑星の運行精度はいまひとつであり、改めて年周運動機構を持つプラネタリウムの開発が計画された。「出来る限り小型で、30年以上の耐久度」というのが至上命令だった。この開発に参加した一本喜治は、タイ

ガーの手回し計算機と格闘し、土星を除く他の惑星に関してはツァイス機を超える歯車比を得ることができた。そして、その結果を最初に報告したのは上司ではなく、電気科学館でツァイスの設計図を見せてくれた佐伯恒夫だったという。それが、千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムIII型(図4.24)である。

従って、千代田光学が最初に製作した本当の意味の投映式プラネタリウムはIII型であったと筆者は考える。ただ、不思議なことに、このIII型が販売されたという形跡がない。

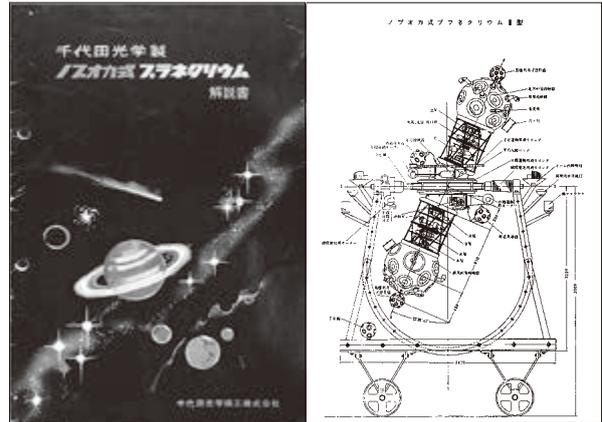


図 4.24 ノブオカ式プラネタリウムの解説書とIII型の図面

## 4.8 大平技研のプラネタリウム

1998年、100万個という驚異的な恒星の数を投映する“MEGASTAR”を製作し、IPS(国際プラネタリウム協会)の「大阪大会」に出品し、脚光を浴びたプラネタリウムがある。驚くことに、これは大平貴之という青年が1人で製作したものである。

今から30数年前、ハレー彗星を観測するためにオーストラリアを訪れた大平は、南天の壮大な星空、特に立体感のある天の川の質感とディテールに驚かされた。その後、あるプラネタリウムを訪問した大平は、1つの違和感に直面する。暗い星と暗い星の間が真っ暗で何も無い。オーストラリアで見た、あの奥行きのある吸い込まれるような星空とは何か違うのである。当時はまだ高校生で、ピンホール式の簡易的なプラネタリウムしか製作できず、レンズ投映式のプラネタリウムを自作するのが夢であった大平青年にとって、それまで理想的と考えていた既存メーカーのプラネタリウムも、まだ理想には届いていない事に気づいた瞬間だった。

その後、大平は、大学時代にレンズ投映式のプラネタリウム投映機“ASTROLINER”(図4.25)の製作に成功したのである。

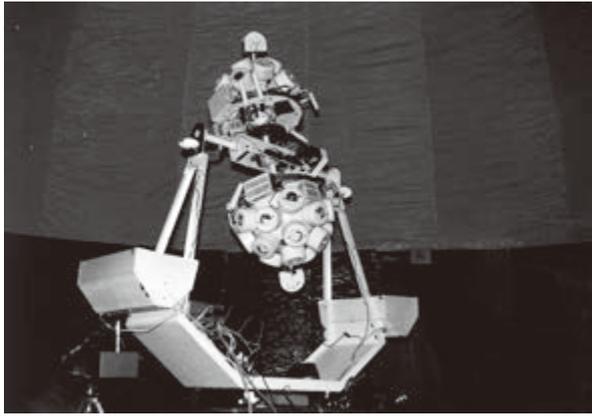


図 4.25 大平貴之製作の ASTROLINER

大平は、ASTROLINER を完成した後、さらにリアルな星空を求めて、MEGASTAR (図 4.26) の開発に乗り出した。そして、IPS (国際プラネタリウム協会) の大阪大会に出品して脚光を浴びたのである。そのことが、さらに大平を後押しする。

MEGASTAR の目的は、当初、どこにでも自在に運搬可能な小型軽量化であった。しかし、その際に映し出す星空の極限のリアルさを追求しようと考えているうちに、従来のプラネタリウムに感じていた違和感と、それを解決する方法として、100 万個を超える恒星を投映し、天の川も星の集団として再現することを考えついたのである。

膨大な数の穴を恒星原板に作り出すこと自体は、XY ステージに載せたリスフィルムに、自作の自動制御の露光機で露光するという方法を既に実現していたので、所要時間はともかくとして、決定的な問題とは思えなかった。しかし、より多くの星を投映するということは、より暗い星まで投映するということであり、そのためには原板上の最少穴径を極端に小さくしなければならない。学生時代に達成していたのは、ASTROLINER で採用したリスフィルムを使い、せいぜい  $8\mu\text{m}$  程度であったが、100 万個の星を投映するとなると 11 等星まで再現する必要があり、その穴径は  $1\mu\text{m}$  を下回ることは確実だった。リスフィルムではとてもそんな解像度は出せないし、耐久性も足りない。そこで、ガラス板に金属膜をコートし、その膜に穴を開ける金属原板を実現しなければならなかった。

実は、大平は、学生時代にアルミニウム蒸着膜を使って何度か恒星原板の試作を試みたが、ピンホールが多過ぎて実用にはならなかった。そこで、調べてみたところ、半導体マスク用のクロムマスクという素材があることに気づき、これで原板を作ることを考えた。しかし、クロムマスクに使われているフォトレジストという感光材は、銀塩のリスフィルムに比べると

感度が数桁低く、尚且つ緑色より波長の長い光では感光しないので、青色レーザーを使う必要があると判断された。

しかし、1996 年当時、青色レーザーはほとんどがガスレーザーの時代で、大きく高価で、しかも変調 (電気信号で高速にオンオフすること) ができない弱点があった。

そこで、大平は、青色アルゴンイオンレーザーを 1 台購入し、これを搭載した恒星原板露光装置を自力で開発した。原理は、大学時代に製作したものと同じだが、光源がアルゴンレーザーであること、また、 $1\mu\text{m}$  以下の穴を露光するため、非常に開口数の大きな対物レンズを使い、レーザー光を鋭く絞る必要に迫られたが、同時に焦点深度が浅くなるため、固定焦点ではとても無理で、原板に合せて焦点を自動的に合わせるオートフォーカス機構が不可欠だった。半導体露光装置の技術に多くのヒントを得て、自宅に簡易クリーンルームを作り、これら 1 つ 1 つの問題を解決して行った。

作業場の自宅は、木造の民家で、家の前を大型の車が通るだけで振動に晒される。この振動に妨害されない機構やソフトウェアの開発、そしてレーザー光は変調ができないので、露光に  $100\mu\text{s}$  程度の短いパルス光を作り出すため、機械式の高速シャッターを自力で開発した。また、露光後の化学処理に使う試薬も特殊なもので入手に苦労したほか、これを溶かす水にはじめ水道水を使ったところ、不純物による影響で結果が大きくばらつき、純水を使う必要があることを思い知らされるなど試行錯誤の連続だった。また、恒星数が膨大になることで、投映面どうしの継ぎ目の処理にも特殊な思想が必要となった。

従来のプラネタリウムでは、複数の恒星の投映面の継ぎ目は、単純に直線処理で特に問題はなかった。ところが、MEGASTAR のように膨大な恒星を投映する場合、投映面どうしの調整のごくわずかな誤差で、空に黒い筋や白い筋が現われることが予見された。そこで、隣接する投映面どうしの境界線に、一定の境界領域を設け、そこに含まれる星は、位置によって確率的にどちらかの投映面に含まれるような処理を行うことで問題を回避した。この技術は MEGASTAR の基本特許にもなっている。

こうした技術開発を経て、MEGASTAR は誕生したが、肉眼で見えない膨大な恒星を投映することには、当初、賛否もあった。しかし、大平は、本物の夜空を丹念に観察すると、肉眼に見えない無数の星が背景の明るさを作り出しているのであり、それを再現

することは至極当然のことと考えた。それは、やがて他社からも同様な思想を持つプラネタリウムの出現によって裏付けられた。



図 4.26 MEGASTAR



図 4.27 MEGASTAR の星空

## 4.9 五藤式プラネタリウム

1910年(明治43年)5月、五藤齊三がちょうど19歳の時、ハレー彗星が76年の旅を終えて、太陽の近くに戻って来た。五藤は、トイレの窓から東の空一面に長く横たわっている、このハレー彗星を見てびっくりし、着物に着替えて外に出て眺めた。これが、五藤が天文に目覚めた最初である。その後、博文館発行の「帝国百科全書」の第60編の須藤伝次郎著の『星学』を読んで勉強している。

五藤は、若くして父を亡くしたので、土佐銀行の給仕を皮切りに、いろいろな職業を転々とするが、1921年(大正10年)ちょうど30歳の時に、日本光学工業(現：ニコン)に入社する。庶務課長を拝命するが、第一次世界大戦後の不況で人員整理を担当し、自分も退職して外部から応援することにした。

五藤は、1926年(大正15年)8月に退職すると、9

月には五藤光学研究所を設立し、“天文学の民衆化”のスローガンの下、三軒茶屋の自宅で小型天体望遠鏡の製造・販売を開始した。

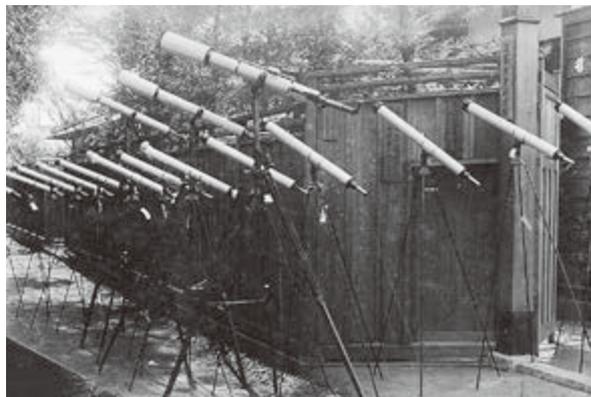


図 4.28 設立当時の五藤光学研究所(正門前)

ところで、五藤がプラネタリウムに興味を覚えたのは、1929年(昭和4年)に太陽系運動儀を製作したことによる。この精密太陽系運動儀は、翌1930年(昭和5年)5月に、日本海大戦後25周年を記念して、東京池之端で開催された「海と空の博覧会」に、三球(太陽・地球・月)儀、ウィルソン山天文台の100インチ反射望遠鏡の模型、各種天体望遠鏡などとともに出品したところ、非常に高精度であることが審査委員長の米原博士に評価され、最高賞の金賞牌を拝受した。

これは、難解な天体運行の原理を理解するのは、高等な天文書を読んでも簡単ではない。そこで、直感的に教育することが出来れば、どんなにか有益だろうと考えて、考案製作したものである。

水星の1公転は58秒、地球は4分、海王星は10時間59分で表し、各惑星の赤道面の傾斜および付随する衛星が主惑星の赤道面を回転するものと、軌道平面を回転するものが直ぐ分かるように取付けられている。地球の衛星の月は、29日半の周期で回転させ、太陽は表面に黒点を描き、27日の平均周期で自転す

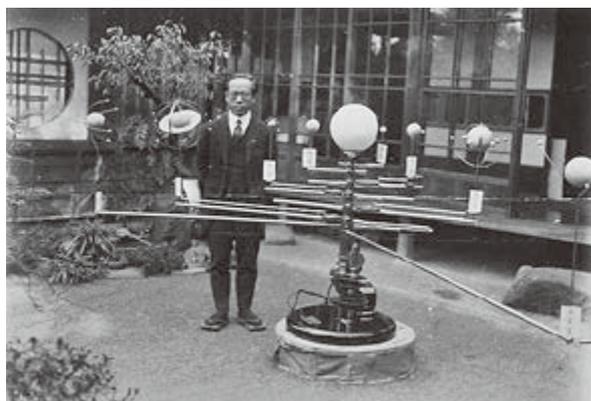


図 4.29 精密太陽系運動儀と山本一清

るのが分かるようにしている。京都大学の山本一清は、これを「日本製プラネタリウム」と命名した。

五藤は、その後25年間は、天体望遠鏡の製作に専念するが、戦後、1955年（昭和30年）になって、アリゾナ大学の招きで太陽熱利用世界討論会に出席し、その帰りに立ち寄った天文台で、台長からプラネタリウムの現状を聞く。アメリカでは、プラネタリウムの需要があるものの、第二次世界大戦後の混乱で、カール・ツァイス社の復興が進まないで、学者と造船所が一緒になってプラネタリウム（モリソン・プラネタリウム）を製作していることや、プラネタリウムの需要が高まり、スピッツ社がツァイス型やモリソン型より簡単な機械を作りこれがよく売れているという話を聞く。そこで五藤は、いよいよプラネタリウム国産化の決意を固めることになる。



図 4.30 太陽熱利用世界討論会で渡米した五藤夫妻

また、1956年（昭和31年）、五藤は国際貿易促進会の主催で、北京と上海で日本商品見本市が開かれた際、東京都出品者協会の理事として同行し、少年科学院でソ連製の小型プラネタリウムを見学する。



図 4.31 北京の日本商品展覧会

五藤は、帰国すると、早速国立科学博物館にプラネタリウムの開発について相談に行く。ところが、「これはコンピュータにも比すべき機械、何も中小企業の

五藤光学がやらなくとも、……」と言われる。しかし、五藤は、これは何としても自分がやらなければと考え、研究に踏み切ることになる。

1957年（昭和32年）春、国立科学博物館の朝比奈貞一の紹介で、プラネタリウム研究家の吉田尹道に会い、出願中の特許を譲り受ける。



図 4.32 プラネタリウム特許の譲渡に関する契約書

そして、同年7月に設計に着手し、9ヶ月かけてようやく組立図が完成する。

その間も、五藤は1957年（昭和32年）に第4次日中貿易協定の締結交渉のため北京を訪問し、北京天文館の落成式で、東独ツァイス製のプラネタリウムを見学し、北京で非常に喜ばれているのを見て大いに刺激を受ける。そして、国産プラネタリウムの完成にいっそう努力することになる。ところが、五藤は、精巧無比であるはずのツァイス・プラネタリウムにも、細かに研究してみると、ある程度の原理的な誤差があることに気づく。

日本も光学工業が世界の一流に達した今、プラネタ



図 4.33 最初に描かれたプラネタリウムの構想図

リウムもツァイスのものよりも優れたものであって欲しいという願いから、1957年（昭和32年）7月に、世田谷区の閑静な住宅地に、プラネタリウム専用の工場を作り、専門の機械と熟練した技術者を専門職にして、他の生産に煩わされることなく、研究開発に没頭できるようにした。

また、1958年（昭和33年）4月には、ツァイス型のように、重量のある恒星球が惑星棚の両端についている鉄垂鈴型の構造では、黄道軸のたわみが大きく、投映される天体の位置精度が著しく悪化する。そこで、恒星球を中心付近に置き、その上に惑星棚を取付けるモリソン型の構造の方が理に叶っているとし、本体の形状をツァイス型からモリソン型に方針を変更した。そして、同年10月に、プラネタリウムの実験用に直径10mのドームを駒沢工場に建設し、こうして、ついに10mドーム用の、国産初のレンズ投映式の中型プラネタリウム「M-1型」の開発に成功したのである。

そして、翌1959年（昭和34年）5月に、晴海のコンベンションセンターで開かれた東京国際見本市に、



図 4.34 東京国際見本市の五藤光学特設館

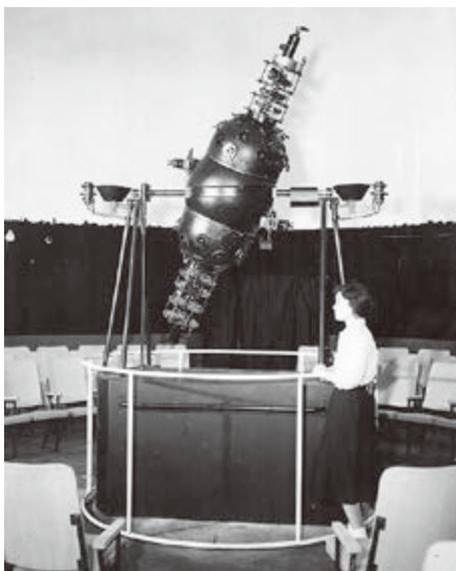


図 4.35 国産初の中型プラネタリウム「M-1型」

五藤光学研究所は特設館を設け、このM-1型プラネタリウムを出品し、実際に投映して見せ好評を博した。

このM-1型プラネタリウムは、その年の11月に、浅草の新世界ビルに納入された。また、1960年（昭和35年）1月、日刊工業新聞社より、昭和34年度の優秀新商品に選ばれ表彰を受けた。また、同年5月、アメリカ・ニューヨーク市主催の第4回全米国際見本市に出品され、ニューヨーク市長より表彰を受ける。このプラネタリウムは、見本市終了後、フィリップ・スターン（Philip D. Stern）が館長を務めるコネチカット州ブリッジポート博物館に納入され、国産プラネタリウムの輸出第1号となった。

1960年（昭和35年）8月15日、セントルイス市が購入する大型プラネタリウムの入札が、西独ツァイス、米国スピッツ社と日本の五藤光学が参加して行われた。幸い五藤光学が一番札を勝ち取ったが、アメリカの習慣で、調査の結果、気に入らなければ二番札、三番札と順次繰り下げて行くということだった。

そこで、担当者がアメリカ中の天文台に「日本の五藤光学を知っているか？」と問い合わせたところ、みな知っているという返事があり、五藤光学が受注することに決まった。この20mドーム用の大型プラネタリウムL-1型は、1962年（昭和37年）10月に府中の新社屋で完成披露され、その後、セントルイス・サイエンス・センターに設置されて、1963年（昭和38年）2月にオープンしている。

また、その年の4月に、16mドーム用の中型プラネタリウムM-2型が岡山県立児童会館に納入され、7月には、8mドーム用の小型プラネタリウムS-3型が小樽市青少年科学技術館に納入された。

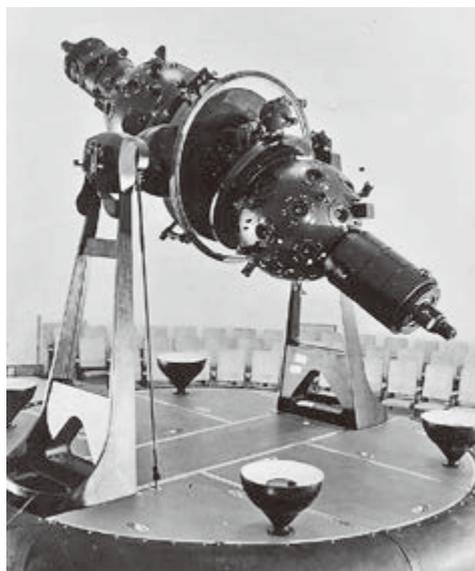


図 4.36 セントルイスに納入された大型プラネタリウム

こうして、1963年（昭和38年）までに、大型、中型、小型のプラネタリウムのラインナップが完成した。

後は、ひたすら宣伝に努め販売するだけである。そこで、PRの方は、毎週土曜日の夜、五藤光学提供のTBSのラジオ番組「星への誘い」が放送され、活気の満ちた時代であった。

## 4.10 その他のプラネタリウム

### < 南国博に登場したプラネタリウム >

1950年（昭和25年）の春、高知県で第2回南国博が開催された。そこに登場した、日本で2台目の簡易式のプラネタリウムがある。

東亜天文学会高知支部の支部長だったS氏の発案で、南国博に歩調を合わせてプラネタリウムを中心とした「天文館」を作ろうと計画した。直径1mの鋳物の球に『村上星図』を頼りに、大小6種類のドリルを使い、5,000個近い星の穴を開けたのは、当時18歳だった関勉だ（図4.37）。友人のO君と約2ヶ月の作業は毎日ほとんど徹夜で、帰りはいつも午前3時、4時だったという。しかし、機運が今ひとつ熟さず、開館からわずか2年余りで閉館を余儀なくされた。



図 4.37 彗星搜索家 関 勉

### < 西村式プラネタリウム >

岡山県の津山科学教育博物館に、キリスト教の宗家の森本慶三が設立した8mドームのプラネタリウムがある。京都の天体望遠鏡メーカー西村製作所が製作したもので、惑星はプリセット方式である（図4.38）。

### < ペンタックスのプラネタリウム >

葛飾区立石の證願寺内にある異色のプラネタリウム。第17代の住職 春日了が5歳のとき、火星の大接

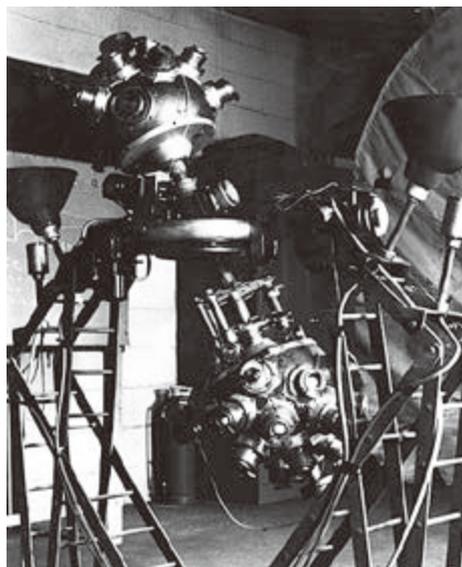


図 4.38 西村式プラネタリウム



図 4.39 プラネターリウム銀河座

近を見て天文少年になる。大学ではインド哲学を学ぶ。ペンタックス株式会社が試作したプラネタリウムを譲り受け、「プラネターリウム銀河座」を運営。毎週第1、3土曜日に開館の完全予約制（図4.39）。

### 画像の出典

- (1)～(4)「天文と気象」1980年4月号 地人書館
- (5)、(6)「天文と気象」1980年5月号 地人書館
- (7)「天文と気象」1980年6月号 地人書館

### 参考文献

- ・「Twilight」日本プラネタリウム協会機関誌
- ・高城武夫著「プラネタリウムの話」大和書房 1954.
- ・「サンデー毎日」1959年5月17日号 1959.
- ・「45年のあゆみ」ミノルタカメラ株式会社 1973.
- ・鶴田匡夫著「第9・光の鉛筆」アドコム・メディア 2012.
- ・五藤齊三著「天文夜話・五藤齊三自伝」 1979.
- ・「星・空・夢 五藤光学研究所 1926-1996」 1996.

# 5 | 国産プラネタリウムの仕組みと構造

## 5.1 天球の仕組み

ここで、天球の仕組みについて説明しておく。

<天球> 夜空に輝く星々は、遠近感がなく、みな丸天井の空に貼りついているように感じられる。そこで天文学では、観測者の眼を中心にして任意の半径の球を描き、これを「天球」と呼んでいる。



図 5.1.1 天球

<天頂と天底> 糸に錘をつけて下げた時、糸の方向を「鉛直線」という。この鉛直線を、上方に延長して天球と交わる点を「天頂」といい、下方に延長して天球と交わる点（実は見えない）を「天底」という。

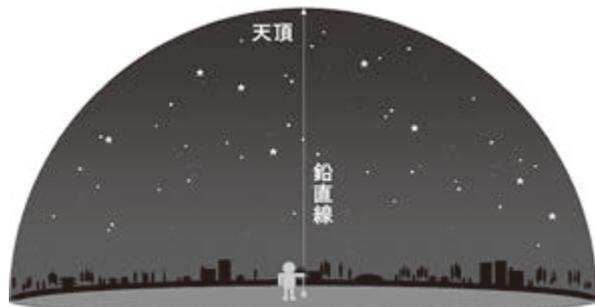


図 5.1.2 天頂と天底

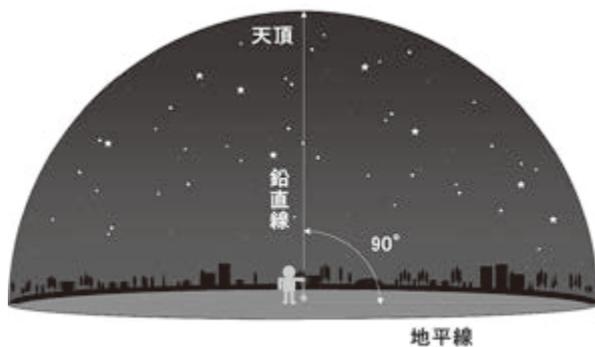


図 5.1.3 地平線

<地平線> 観測者の眼を通り、鉛直線に垂直な平面が天頂と交わってできる大円を「地平線」という。つまり地平線は、天頂からちょうど  $90^\circ$  離れた天球上の大円である。

<日周運動> 夜空の星々は毎日、東の地平線から出て西の地平線に沈む。これは、星々が空を東から西に回っているのではなく、実は地球の自転、つまり地球が約1日の周期で西から東の方に回転しているために起こる見掛けの現象で、これを「天の日周運動」という。

<日周運動と周極星> 日周運動によって、星々が夜空を動いて行く道筋のことを「日周圏」という。この日周圏が地平線と接すると、星は終夜地平線下に沈まなくなる。このような星を「周極星」という。

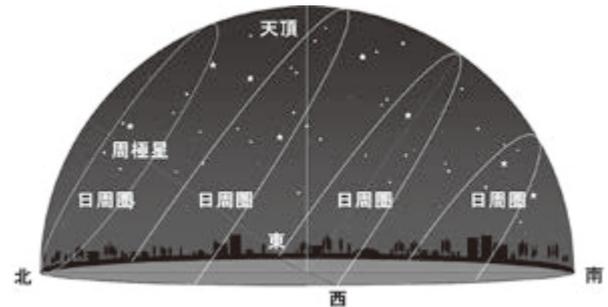


図 5.1.4 日周圏と周極星

<天の北極と南極> 周極星の日周圏の中心は、地球の自転軸（地軸）の延長が天球と交わる点で、これを「天の北極」といい、また南の方で天球と交わる点を（日本からは見えない）「天の南極」という。

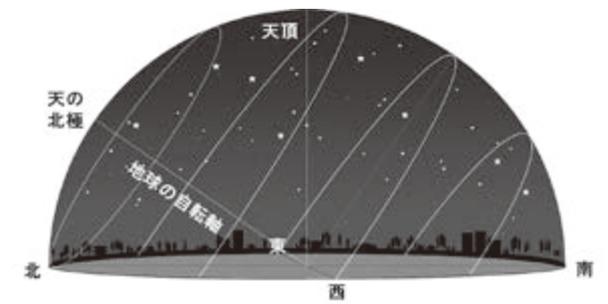


図 5.1.5 天の北極

＜天の赤道＞ 観測者の眼を通り、天の両極を結ぶ線（地軸）に垂直な平面が、天球と交わってできる大円を「天の赤道」という。

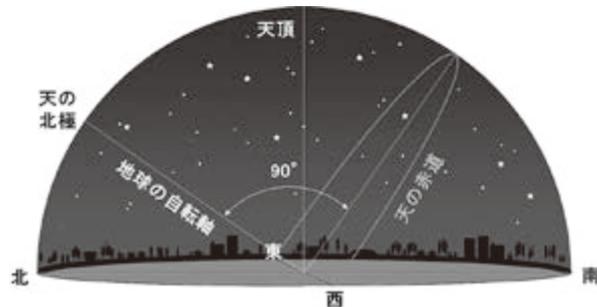


図 5.1.6 天の赤道

＜天の子午線＞ 天頂と天底を通る大円、つまり地平線に垂直な大円は、すべて「垂直圏」という。その垂直圏のうち、天の両極を通るものを「天の子午線」という。

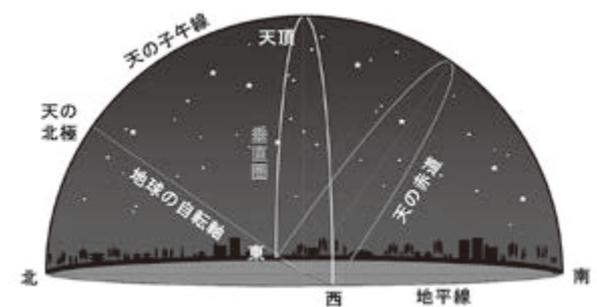


図 5.1.7 天の子午線

＜天体の正中＞ すべての天体は、日周運動によって天球上を東から西に動いて行くが、ちょうど子午線上にきたときに、天体は「正中」という。

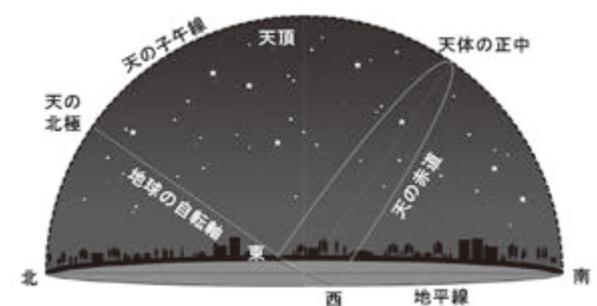


図 5.1.8 天体の正中

＜天体の南中と北中＞ 観測地点から見て、天の北極から天頂を通り南極に至る子午線の部分で正中する場合を「南中」といい、他の部分（天の北極から天底を通り天の南極に至る部分）で正中する場合を「北中」という。

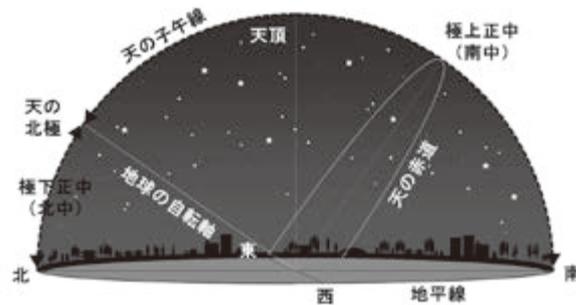


図 5.1.9 天体の南中と北中

＜地上の方位＞ 天の子午線は、地平線と南北2ヶ所で交わるが、南の交点を「南方基点」といい、北の交点を「北方基点」という。また、卯酉線（ほうゆうせん）は、地平線と東西2ヶ所で交わるが、東の交点を「東方基点」といい、西の交点を「西方基点」という。これが地上の方位の厳密な定義である。

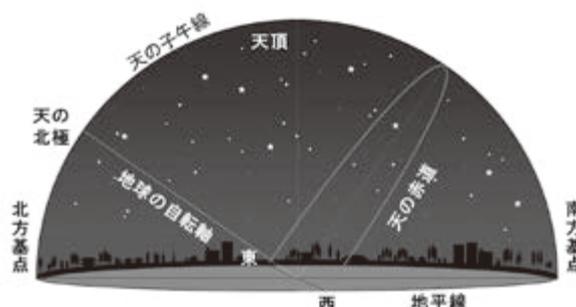


図 5.1.10 地上の方位

＜星座＞ 天球上の恒星の分布はとても不規則で、光の強弱もさまざまである。そこで古代の人々は、それらの星々の配置を天球上の場所場所でグループにまとめ、それを「星座」と呼んだ。星座の中の星々の配列から、神々、人物、動物、器具などの形を想像し、星座の名前もそれにちなんで生まれたもので、大半がギリシャの星座であり全部で88ある。

＜恒星の名称＞ 明るい恒星の名称は、その星の属する星座名とギリシャ文字の組合せで表示される。それぞれの星座の星の光の強さの順序に従って、ギリシャ文字の小文字がつけられており、例えば、オリオン座のα星、ふたご座β星、おとめ座γ星などと表す。

ギリシャ文字は24しかないが、星々にはその他に番号が付けられている。この番号のことを発案者の名をとって、「フラムスチード番号」という。

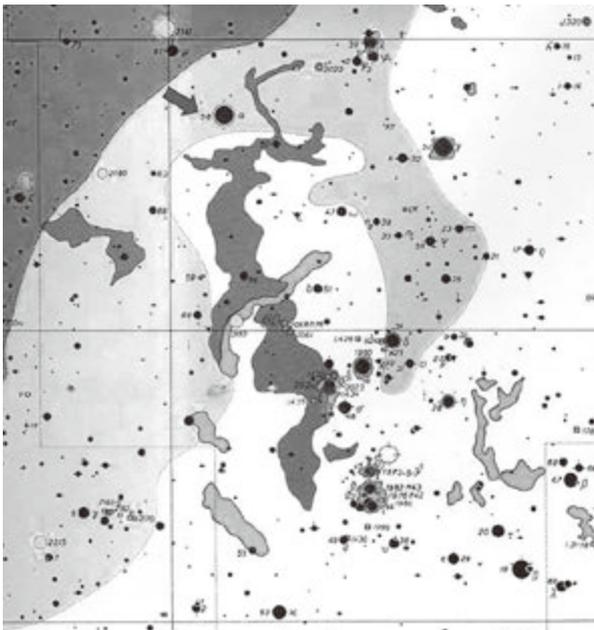


図 5.1.11 恒星の名称<sup>(1)</sup>

<恒星の固有名> 恒星の星座による名称の他に、特に明るい恒星には昔から特別な固有名がつけられている。例えば、ベテルギウスやリゲル、スピカなどがそれで、それらは、ギリシャ、ラテン、アラビア語源で、そのうちアラビア系が最も多い。これは、中世に天文学の中心がアラビアに移った時代の名残である。

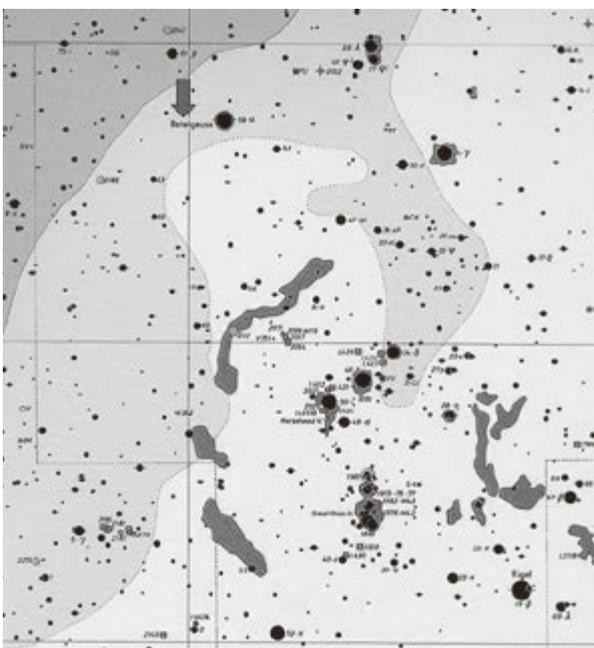


図 5.1.12 恒星の固有名<sup>(2)</sup>

<太陽の年周運動> 日没直後、西の地平線に見える星座を適当な間隔をおいて観察すると、見える星座が西の方に移って行くのが分かる。同様に、日の出

直前の東の地平線に見える星座も、やはり季節とともに西に移って行く。そこで、星座を固定して考えると、太陽が星座の中を、日々西から東の方に動いて行き、ちょうど1年で星空を一周するように感じられる。これは、地球が約1年の周期で太陽の周りを公転しているために起こる見掛けの現象で、これを「太陽の年周運動」という。この現象は、太陽だけでなく、各惑星についても起こる現象で、その場合は「惑星の年周運動」という。

<黄道> 太陽の年周運動の道筋は、天球上の大円で、これを「黄道」という。また、黄道から90°離れた天球上の2点、つまり、観測者の眼を通り黄道に垂直な直線が天球と交わる点を、「黄極(点)」という。

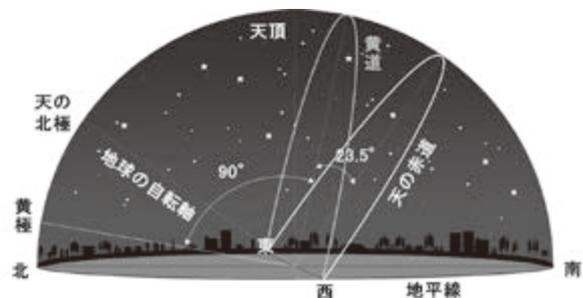


図 5.1.13 黄道

<分点と至点> 黄道も赤道とともに大円であるから、両者は天球上の2点で交わる。この点を「分点」というが、太陽が南から北へ赤道を横切る方を「春分点」、他方を「秋分点」という。

黄道と赤道は、約23.5°傾いていて、これを「黄道傾斜(角)」という。黄道傾斜は、黄道面と赤道面の挟む角であるから、太陽は赤道から最大23.5°だけ南北に離れる。その内、黄道が赤道から最も北に離れる点を「夏至点」、南に最も離れる点を「冬至点」といい、両者を合わせて「至点」という。

<まとめ> 地球上の位置は、番地の他に、経度と緯度によって表される。これと同じように、天体の位置も星座名とギリシャ文字の他に、赤経と赤緯によって表す。赤経は、天の赤道の春分点を0時とし、反時計回りに24時まで測る。また、赤緯は、赤道を0°とし、天の両極の90°まで測る。ただし、赤道より北側を+、南側を-で表す。従って、天体の位置は、

$$\alpha \text{ (赤経)} = \text{〇〇 h } \text{〇〇 m } \text{〇〇. } \text{〇 s}$$

$$\delta \text{ (赤緯)} = +\text{〇〇}^\circ \text{ } \text{〇〇}' \text{ } \text{〇〇. } \text{〇}''$$

というように表される。

勿論、実際の空には、天の赤道や黄道、子午線と

いった表示はないが、プラネタリウムではそれらを表示し、観客の理解を助けるようにしている。また、このような座標系の目盛りだけでなく、天の両極や、黄極点、天頂点などの標識もある。

## 5.2 ドームスクリーン

科学館や博物館のプラネタリウムを投映する部屋に入ると、円形の部屋の中央に、恒星や惑星など各種の天体を投映するプラネタリウムの機械がある。上の方を見ると、真白のドーム（丸天井）になっていて、ここが空で、天体を投映するスクリーンになっている。

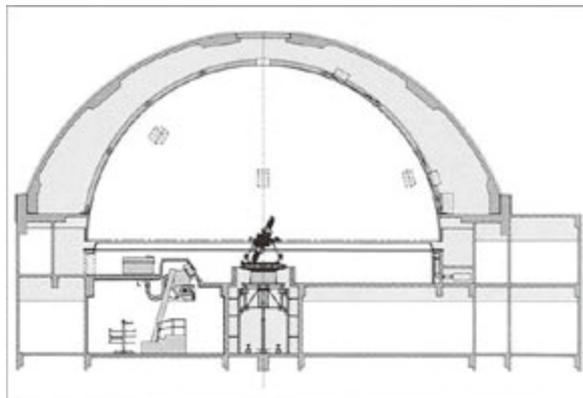


図 5.2.1 水平ドーム

また、下の方には座って空を眺めるためのリクライニングシートが並んでいる。プラネタリウムの部屋の中は、どこでも概ねこのようになっている。

ドームスクリーンには、いろいろな形状のものがあるが、プラネタリウムで使用されるのは、主に水平ドーム（図 5.2.1）と傾斜ドーム（図 5.2.2）の 2 種類である。

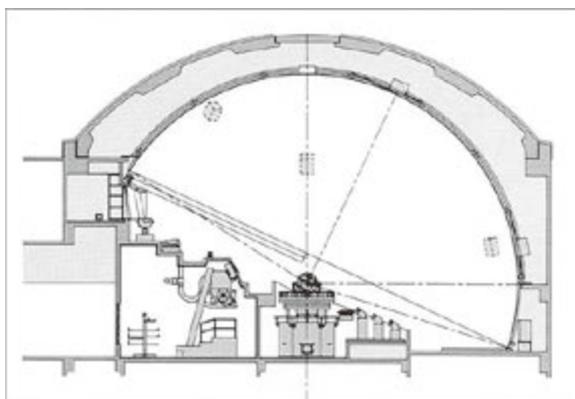


図 5.2.2 傾斜ドーム

以前は、教育を目的とした地球型プラネタリウムの場合は水平ドームを用い、宇宙劇場のようなショー的要素の強い宇宙型プラネタリウムの場合は、傾斜ド

ームを用いていた。しかし、最近では、水平ドームでも床面を僅かに傾斜させるところが多くなっている。

プラネタリウム用のドームの建て方も、1970 年頃までは、直径が 16m 以下の小、中型のプラネタリウムだけで、大型プラネタリウムが少なかったためか、円筒形の壁に直接ドームの鉄骨を組んで地上 1 階に建てるが多かった。従って、ドームスクリーンも、コンクリートや漆喰、アスベスト、布テープなどで作られた。しかし、その後はアルミニウムの板に穴の開いたパンチングシートが使われるようになった。

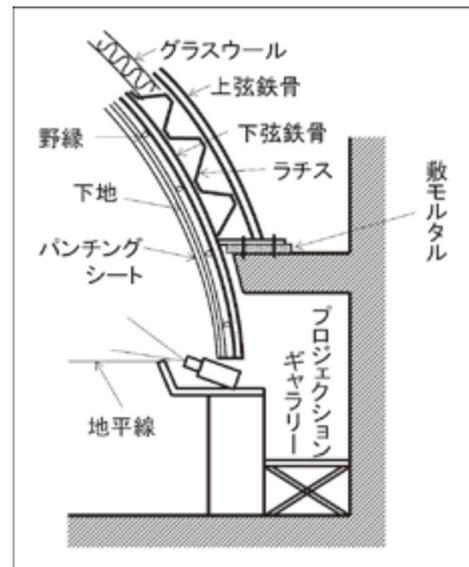


図 5.2.3 ドームスクリーンの構造（断面図）

五藤光学の場合は、1977 年の熊本市立熊本博物館の GM-15-AT (16m) や 1979 年の富山市科学文化センターの GM II-AT (18m) からプロジェクションギャラリーが設けられるようになり、ドームスクリーンの構造も図 5.2.3 のようになった。

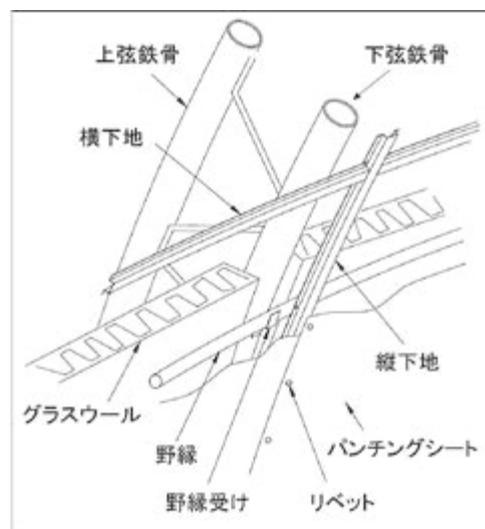


図 5.2.4 ドームスクリーンの構造（模式図）

上弦鉄骨と下弦鉄骨がラチスで溶接され、駆体に敷モルタルを挟んでアンカーボルトで止められている。下弦鉄骨にはリング状の野縁がつけられ、それにハット型の縦、横の下地が取り付けられている。この縦、横の下地にスクリーンとなるパンチングシートがリベットで止められる (図 5.2.4)。



図 5.2.5 パンチングシート

パンチングシートは、縦 2,000mm、横 500mm、厚さ 0.6mm のアルミニウムの板で、図の 5.2.5 ようなパターンで直径 2mm の穴が開けられている。

つまり、直径 2mm の穴は、6mm の間隔で横一列に並んでいて、つぎの行は約 5.2mm (正しくは 5.1962mm) 下で、2mm の穴は上の穴より左右に 3mm ズレたところから、やはり 6mm の間隔で横一列に並んでいる。

このパターンの場合、開口率はどのくらいになるだろうか。

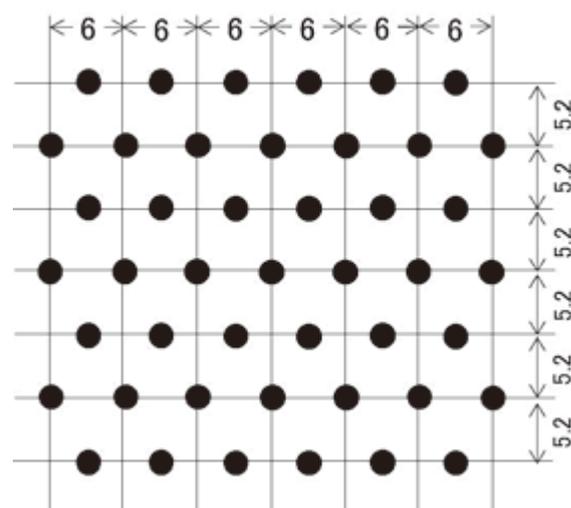


図 5.2.6 パンチングシートのパターン

今、6mm × 5.1962mm の四角で考えた場合、上辺の角に穴の中心があり、下辺の中央に穴が半分か

かっていると考えると、四角の面積は  $6 \times 5.1962$  で  $31.1772\text{mm}^2$ 、穴の開いている面積は、上辺の 2 つの角の穴が  $1/4 + 1/4$  で半分、それに下辺の中央の穴の半分を加えると、ちょうど直径 2mm の穴 1 個分が開いていることになる。円の面積は  $\pi r^2$  であるから 3.1416 で、これを 31.1772 で割って 100 を掛ければ、開口率は約 10.1% (正確には 10.077%) である。

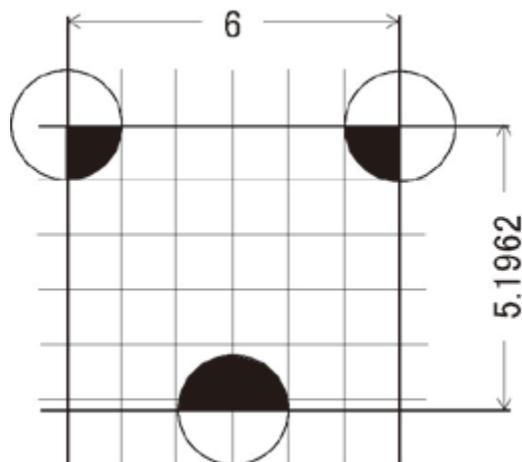


図 5.2.7 パンチングシートの開口率

ところで、ドームスクリーンに塗る塗料であるが、映画用のスクリーンには、用途によっていろいろな指向性のあるものがある。普通の映画館で使われているシルバースクリーンは、鏡のように入射光と反対側に反射するが、最近の 3D 映画用のビーズの入った塗料は、入射光と同じ方向に反射するようになっている。

プラネタリウムの場合、ドーム内のどの座席から見ても同じような明るさに見える必要があり、図 5.2.8 に掲げた「理想的な反射」のように、あらゆる方向に同じ明るさで反射するのがよく、白色の艶消し塗料が使われている。

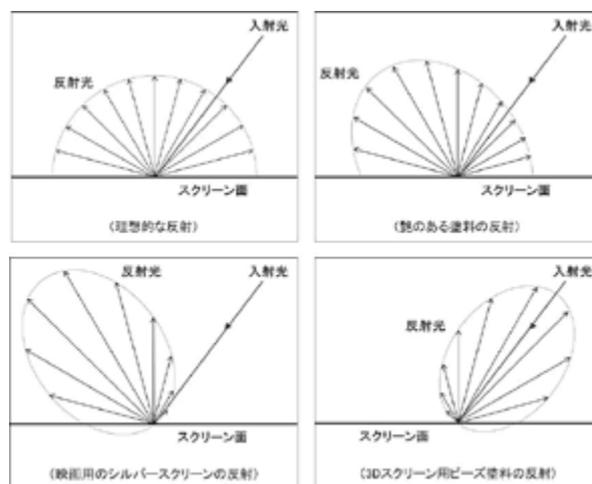


図 5.2.8 各種スクリーンの指向性

つぎに、ドームスクリーン（パンチングシート）に塗る塗料の反射率であるが、昔はプラネタリウムとしてのみ使用する時は、ほぼ100%の反射率の塗料を塗っていた。しかし、最近では、天体写真や説明図などを数多く投映するようになったので、五藤光学の場合は、反射率を80%に押えている。また、プラネタリウムとアストロビジョンやOmniMaxなどの大型映像の投映装置と併用して使用する場合は反射率を70%、大型映像だけに使用する場合は反射率を60%にしている。

ところで、以前はパンチングシートを貼ってから吹き付け塗装を行っていた。しかし、そうすると左右上下のシートの重なった部分の穴が塞がってしまうので、そこだけ真っ白になってしまうという欠点があった。そこで1977年から、あらかじめ塗装済みのパンチングシートを貼ることにし、貼り合わせる部分の2枚のシートの中に、黒色のテープを貼って、穴の所が黒く見えるようにしたシームレス工法が採られている。

そのパンチングシートの貼り方であるが、シートの無駄を少なくするためにいろいろ工夫が必要だ。

1枚のパンチングシートの大きさは、縦2,000mm、横500mmであるが、しかし、重ね代を25mmとるので、実質、縦1,975mm、横475mmである。従って、1枚分の幅で天頂まで貼った状態を考えると、水平ドームの場合、地平線（水平線）の一番幅の広い部分が475mmで、天頂の方に行くに従って細くなり、天頂のところでは細長い二等辺三角形の尖った頂点になる。そうすると、地平線から60°の高さのところのシートの幅が、地平線のところの幅の半分になっていることに気づく。同じように地平線から75.5°の高さ

のところのシートの幅が地平線のところの幅の1/4になる。

この性質を活かして、直径が23mの水平ドームの場合を考える。地平線（高度0°）のところの円周が72.2566mであるから、パンチングシートの縦の長さ1.975mが何度になるかという、残念ながら10°に僅かに足りず、約9.8°である。

そこで、地平線（0°）から高度58.8°のところまではパンチングシートを横に4枚並べて貼り、58.8°から78.4°まではシートを横に2枚貼り、その上はシートを1枚だけ貼るというようにする。ただし、天頂（90°）だけはシートを半径475mm以下の半円形に切ったものを2枚つないで円形にして貼る。そうすると、パンチングシートをリベットで止めるための縦下地（図5.2.4参照）の数は、必ず偶数にする必要がある。

今、地平線のところの円周は72.2566mであるから、それを0.475mで割るとパンチングシートが152枚必要なことが分かる。これは偶数なので縦下地が152本立っているはずであるから、上に述べた要領でパンチングシートを貼って行けばよい。そうすると、図5.2.9のようになる（ただし、1/4だけ模式的に示した）。

高度が9.8°ごとのシートの貼る枚数を、図5.2.9の下の方に書いておいた。それらを合計して4倍すると、シートの枚数は全部で1,104枚になる。

その他、ドームにはスクリーンの裏に音響用のスピーカーが6個取り付けられている。そこで、音が反響しないように、ドームスクリーン裏の上弦鉄骨と下弦鉄骨の間にグラスウールが入れている。また、ドームと建屋の形状が同じドーム状でも、反響が起らないように求心の位置をずらして作られている。

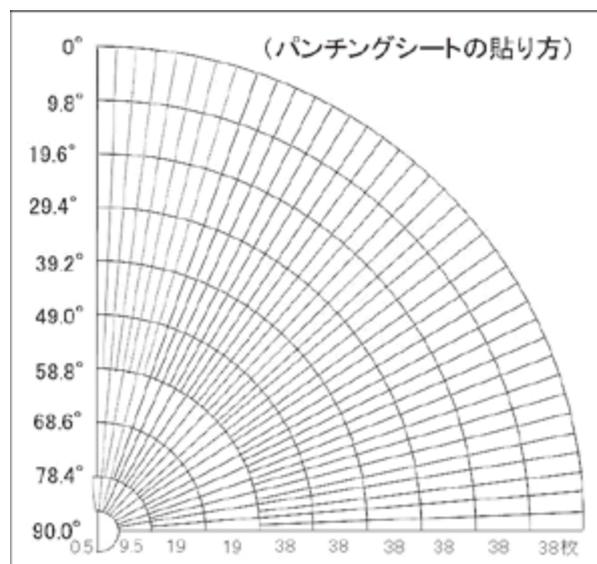


図 5.2.9 パンチングシートの貼り方（1/4）

### 5.3 プラネタリウムの投映装置

図 5.3.1 は、五藤光学が最初に開発した中型プラネタリウム M-1 型の図（左）と写真（右）で、図 5.3.1 の上方が北天、下方が南天、左側が東、右側が西である。また、①～⑮までは、それぞれ、

- ①歳差円（目盛）投映機
- ②年周運動用のモーター
- ③惑星投映機（通称：惑星棚）で図の上の方から、月、太陽、水星以上が北天、金星、火星、木星、土星以上が南天の各惑星投映機
- ④恒星投映機（通称：恒星球）
- ⑤極点投映機（上が北極点、下が南極点）
- ⑥昼光・青光投映機（外側が昼光、内側が青光）

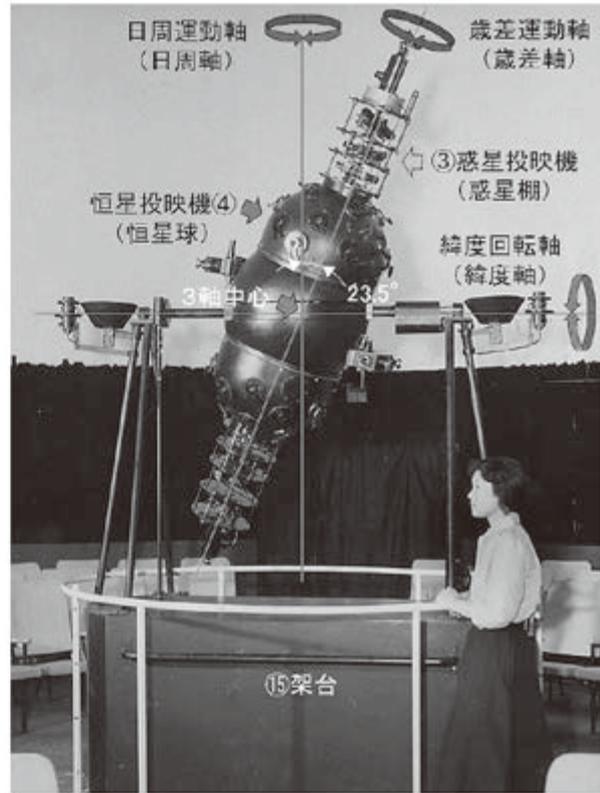
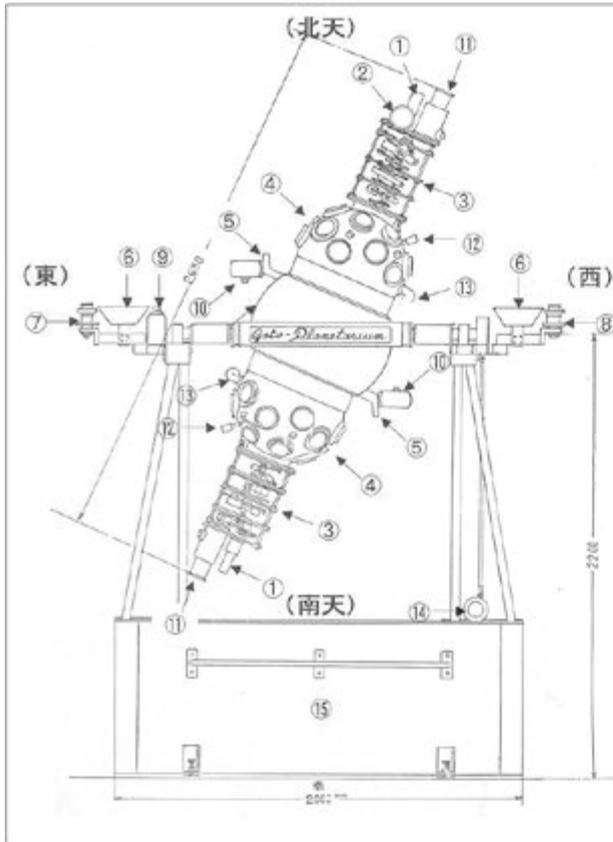


図 5.3.1 プラネタリウム各部の名称

- ⑦朝焼 (上)・薄明 (下) 投映機
  - ⑧夕焼 (上)・薄暮 (下) 投映機
  - ⑨子午線投映機
  - ⑩赤道・黄道投映機
  - ⑪黄極恒星投映機 (上が北、下が南の黄極恒星)
  - ⑫天の川投映機
  - ⑬冷却ファン
  - ⑭緯度軸回転用のモーター
  - ⑮架台
- となっている。

また、図 5.3.1 右側の写真には、プラネタリウムにとってとても重要な 3 つの回転軸を示した。架台に垂直に立っているのが日周運動軸 (通称：日周軸) で、天体が東の地平線から出て、南の空を通り、西の地平線に沈む、天の日周運動を再現するための軸。

架台に対して水平で、日周軸と垂直に、南北に設置されているのが緯度回転軸 (通称：緯度軸) で、これは地球上のどのような緯度の場所から見た星空でも再現できるようにするための軸。

また、日周軸と 23.5° の角度で設置されているのが歳差運動軸 (通称：歳差軸) で、現在、天の北極近くには北極星が輝いているが、それが半径 23.5° の円を描いて、25,800 年の周期で回転するための軸である。

⑥の昼光・青光投映機というのは、昼の明るさを表す白色光の投映機と、薄青い月明かりを表す青色光の投映機である。



図 5.3.2 M-1 型の昼光・青光投映機

## 5.4 中央部

図 5.3.1 右側写真の「3 軸中心」がドームの中心に当り、この部分がプラネタリウム本体の中央部である。プラネタリウムの日周運動を行うと、プラネタリウム本体が「味噌播り運動」のような実に奇妙な回転を行う。その秘密がこの中央部にある。

ベアリングの入ったケースの左右には緯度回転軸がねじ込まれている。ベアリングの中には 23.5° 傾いた穴の開いた、通称「八頭」と呼ばれるセンターピースが嵌め込まれ、さらに 23.5° 傾いた穴には歳差運動軸が嵌め込まれる。

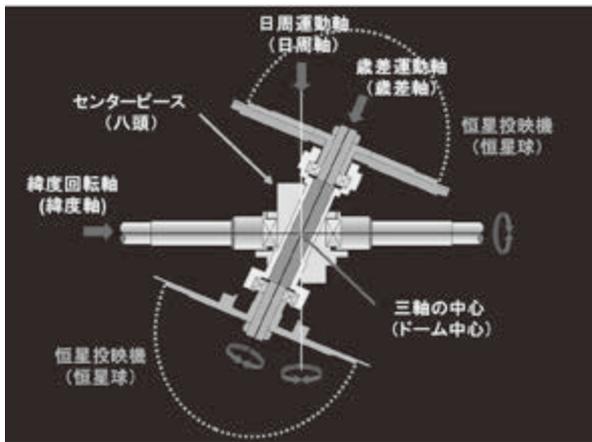


図 5.4.1 中央部 (1)

従って、はじめ上方の恒星投映機は右の方に  $23.5^\circ$  傾いているが、日周運動軸が  $180^\circ$  回転すると、上方の恒星投映機は左の方に  $23.5^\circ$  傾いた状態になる。つまり、日周運動を行うと上下の恒星投映機は、恰も味噌振り運動するように回転するのである。

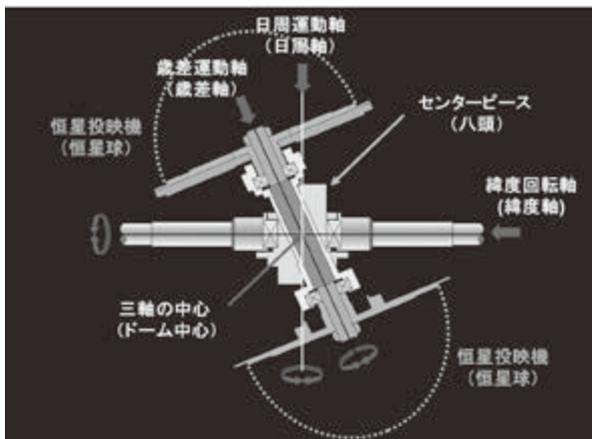


図 5.4.2 中央部 (2)

こどもの頃、はじめてプラネタリウムを見たとき、右にあった恒星球がいつの間にか左側にきていて不思議に思ったが、理屈が分かったと簡単なことだった。

## 5.5 恒星投映機

### <天球の分割>

歳差運動軸の両端には、大きな円板が取付けられ、その上に恒星球が載せられている。恒星球にはたくさん穴が開いているが、いくつ開いているのだろうか。

私たちは、よく晴れた夜に外に出て、空を眺めるとたくさんの星々を見ることができる。そして、それらの星々は、どれも等しい距離にあって、あたかも1つの大きな球面にちりばめられているように感じる。こ

れは、昼間でも同じことで、われわれの太陽は丸い青空の上を滑って行くように思われる。そこで、天文学では、われわれの眼を中心にして任意の半径の球を描き、これを「天球」と呼んでいる。



図 5.5.1 天球

そこで、プラネタリウムでは、この天球の代わりに丸天井のドームを作り、そこに星々を投映して星空を再現する。しかし、とても1個や2個の投映筒では、これら天球上にちりばめられた全ての星々を映し出すことは出来ない。そこで、天球をいくつかに分割して、数10個の投映筒を使って再現することになる。ただし、天球を分割する時は以下のことに注意する。

- ①投映筒の光学系は円形であるから、分割した区画は円形に近い方が良い。
- ②投映筒はみな同じものを使う方が低コストにできるので、分割した区画の大きさはみな同じ方が良い。
- ③投映筒の数を少なくしたいので、分割した区画の大きさは、投映画角の範囲内でできるだけ大きい方が良い。
- ④天球の分割は、隙間の無いようにする必要がある。

恒星投映筒に使用するレンズは、星の光がとても暗いので、なるべく損失を少なくするために、レンズの枚数の少ないカメラ用のトリプレットかテッサタイプで、焦点距離が50mmの標準レンズのようなものが最適だ。そこで、それらの画角は対角で  $46^\circ$  前後であるから、投映画角が  $46^\circ$  前後で全天をカバーするには、天球をどのように分割すれば良いかを考える。



図 5.5.2 変形半正 32 面体

正三角形が20面からなる多角形の「正20面体」を作り、その中に内接する球を入れる。その後、正20面体の各頂点を内接球に接する面で切り取ると、正五角形が12面と変形した六角形が20面の「変形半正32面体」ができる。この時、正五角形と六角形のそれぞれの中心から角までの長さが全て等しくなるという特徴がある。従って、その長さが使用するカメラの標準レンズの画角内に入っているか否かである。

そこで、その特徴を生かしコツコツ計算して面の中心から角までの距離を求めるのもよいが、ちょっと面倒なので球面上で直接求めることにする。

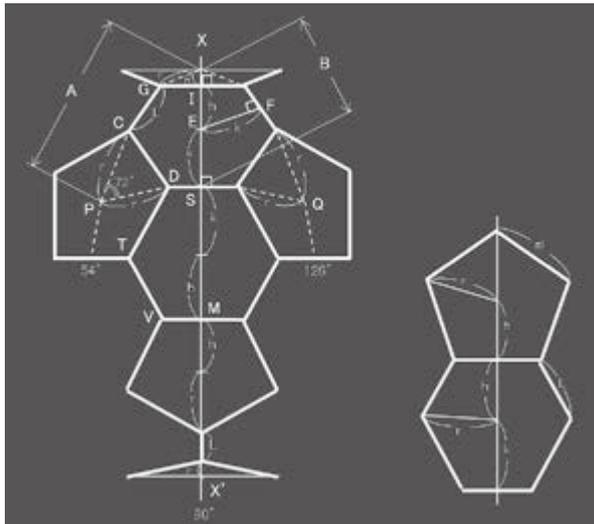


図 5.5.3 変形半正 32 面体の計算

図 5.5.3 において、X、X' を北および南の黄極点とすると、X から X' までの半円周は、

$$h + h + k + k + h + h + r + L + r = 180^\circ$$

$$2(2h + k + r) + L = 180^\circ$$

また、XP = A、XS = B とすれば、

$$A = 63.43494882^\circ$$

$$B = 58.28252559^\circ$$

また、図 5.5.3 の△ XEF において、∠ EXF = 36° であるから、

$$h = 18.68868407^\circ$$

$$k = 20.90515745^\circ$$

つぎに、図 5.5.3 の△ XGI において、∠ IXG = 36° であるから、∠ XGI = G とおくと、

$$sl = 26.21040948^\circ$$

$$r = 22.69048037^\circ$$

$$G = 56.16566844^\circ$$

また、L = A - 2r = 18.05398808°

従って、

$$r = 22.69048037^\circ = 22^\circ 41' 25.7''$$

$$h = 18.68868407^\circ = 18^\circ 41' 19.3''$$

$$k = 20.90515745^\circ = 20^\circ 54' 18.6''$$

$$sl = 26.21040948^\circ = 26^\circ 12' 37.5''$$

$$L = 18.05398808^\circ = 18^\circ 03' 14.4''$$

となる。

カメラ用の 50mm 標準レンズの画角が 46° (半画角: 23°) であり、r を 2 倍した角度よりも大きいので、この方法で天球を分割すればよいことが分かる。

つぎに、五角形と六角形 (通称: マスク) の中心と角 (コーナー) の座標を計算する。それには、図 5.5.3 の XD と XT の角度を知る必要がある。そこで、△ XPD において、

$$XP = 63.43494882^\circ$$

$$PD = 22.69048037^\circ$$

$$\angle P = 72^\circ$$

であるから、ナビアの公式より、

$$X + D = 120.9599372^\circ$$

$$X - D = -70.1173039^\circ$$

$$X = 25.42131661^\circ$$

$$D = 95.53862059^\circ$$

また、デランプル・ガウスの公式より、

$$XD = 58.72007596^\circ$$

同様に、図 5.5.3 の△ XTP において、

$$XP = 63.43494882^\circ$$

$$TP = 22.69048037^\circ$$

$$\angle P = 144^\circ$$

であるから、ナビアの公式より、

$$X + T = 45.26334833^\circ$$

$$X - T = -18.8120504^\circ$$

$$X = 13.22564896^\circ$$

$$T = 32.03769937^\circ$$

また、デランプル・ガウスの公式より、

$$XT = 82.33002098^\circ$$

つぎに、△ YVM において、

$$VM = sl/2 = 13.10520474^\circ$$

$$XM = h + h + k + k + h = 3h + 2k$$

$$= 97.87636711^\circ$$

直角球面三角形の基本公式より、

$$\cos XV = \cos VM \cos XM = -0.13346692$$

$$XV = 97.66997902^\circ$$

$$\cot X = \cot VM \sin XM = 4.254953139$$

$$X = 13.22564878^\circ$$

故に、マスク No.1 (第 1 五角)、マスク No.2 (第 1 六角)、マスク No.7 (第 2 五角) およびマスク No.12 (第 2 六角) の中心と各コーナーの黄道座標は、黄経を λ、黄緯を β とすれば、

マスク No.1	$\lambda$	$\beta$
中心	0.00000000°	90.00000000°
(1)	54.00000000°	67.30951963°
(2)	126.00000000°	67.30951963°
(3)	198.00000000°	67.30951963°
(4)	270.00000000°	67.30951963°
(5)	342.00000000°	67.30951963°

マスク No.2	$\lambda$	$\beta$
中心	90.00000000°	52.62263186°
(1)	54.00000000°	67.30951963°
(2)	54.00000000°	49.25553155°
(3)	79.42131661°	31.27992404°
(4)	100.57868340°	31.27992404°
(5)	126.00000000°	49.25553155°
(6)	126.00000000°	67.30951963°

マスク No.7	$\lambda$	$\beta$
中心	54.00000000°	26.56505118°
(1)	54.00000000°	49.25553155°
(2)	28.57868339°	31.27992404°
(3)	40.77435103°	7.66997902°
(4)	67.22564897°	7.66997902°
(5)	79.42131661°	31.27992404°

マスク No.12	$\lambda$	$\beta$
中心	90.00000000°	10.81231696°
(1)	79.42131661°	31.27992404°
(2)	67.22564897°	7.66997902°
(3)	76.77435122°	-7.66997902°
(4)	103.22564880°	-7.66997902°
(5)	112.77435100°	7.77997902°
(6)	100.57868340°	31.27992404°

従って、これらを72°ずつ回転させると、全てのマスク中心とコーナーの黄道座標を求めることができる。天球を分割したのが下に掲げた図 5.5.4 である。

五藤式プラネタリウムの場合、天球を黄道分割にすることにしているので、北天の No.1 と南天の No.17

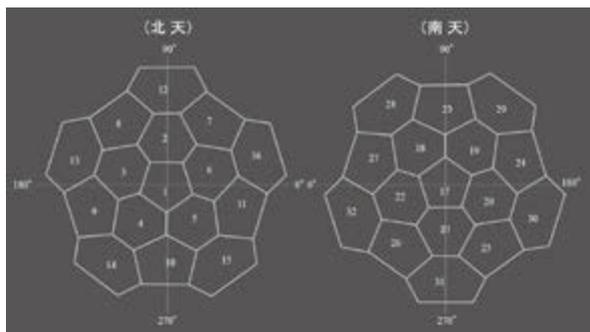


図 5.5.4 天球の分割図

が、図 5.3.1 の黄極恒星に当る区画である。従って、他の 30 個は恒星球に取り付けられる投映筒用のものであるから、恒星球には南北それぞれ 15 個ずつ合計 30 個の穴が開けられていることになる。

また、これらの位置を赤道座標の星図の記入するためには、以下の式を用いて赤道座標に変換する。

$$\cos \delta \cos a = \cos \beta \cos \lambda$$

$$\cos \delta \sin a = -\sin \beta \sin \varepsilon + \cos \beta \sin \lambda \cos \varepsilon$$

$$\sin \delta = \sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \lambda \sin \varepsilon$$

ここで、 $\varepsilon$  は黄道傾角で、ニューカム (S. Newcomb) によれば、

$$\varepsilon = 23.452294^\circ - 0.0130125^\circ T - 0.00000164^\circ T^2 + 0.000000503^\circ T^3$$

ここで T は、1900 年 1 月 0.5 日 ET (JED 2,415,020.0) からの時間経過を 36,525 暦表日単位で測ったもの。このようにして星図を分割したのが「マスク分割星図」と呼ばれるものである。



図 5.5.5 マスク分割星図<sup>(3)</sup>

各マスクの配置は、下記のようにになっている。

北天の場合

第 1 六角 = マスク No.2 から No.6

第 2 五角 = マスク No.7 から No.11

第 2 六角 = マスク No.12 から No.16

南天の場合

第 1 六角 = マスク No.18 から No.22

第 2 五角 = マスク No.23 から No.27

第 2 六角 = マスク No.28 から No.32

### < 偏心計算 >

南北の恒星投映機 (恒星球) には、上記のように、それぞれ 15 個の恒星投映筒が取付けられている。それらの投映筒は図 5.5.8 のようなものである。

光源 (恒星電球) から出た光は、集光レンズ (コンデンサーレンズ) によって集光され、星の穴の開いた



$$\tan \alpha = EH/DE = (IJ - SJ)/P$$

$$= (R \sin \beta_n - sl + m \cos \theta)/P \dots \dots \dots (8)$$

△ BFW において、

$$WF = R \cos \beta_0$$

$$BW = R \sin \beta_0 - sl$$

であるから、

$$\tan (180 - \theta) = WF/BW = R \cos \beta_0 / (R \sin \beta_0 - sl)$$

$$= \cos \beta_0 / \{ \sin \beta_0 - (sl/R) \} \dots \dots \dots (9)$$

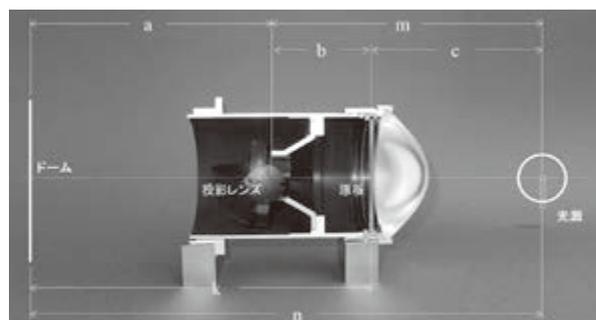


図 5.5.10 M-1 型の恒星投映筒の光学系概略図

恒星投映機の光学系は、概略図 5.5.10 のようになっている。今、投映レンズの焦点距離を  $f$  とすれば、

$$1/a + 1/b = 1/f \dots \dots \dots (10)$$

そこで、 $a + b = k$  とすると  $a = k - b$  であるから、

$$b^2 - bk + kf = 0$$

$$b = (k - \sqrt{k^2 - 4kf})/2 \dots \dots \dots (11)$$

従って、投映倍率を  $M$  とすれば、

$$M = a/b \dots \dots \dots (12)$$

である。然るに、原板上の星の  $X$ 、 $Y$  座標は、

$$X = x/M, Y = y/M \dots \dots \dots (13)$$

となる。

つぎに、投映レンズの歪曲収差の補正を行う。

ところで、恒星の位置に影響するものに、投映レンズによる像面の歪曲収差 (distortion) がある。

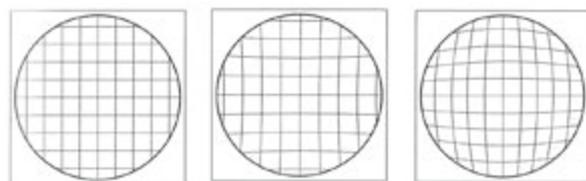


図 5.5.11 像面の歪曲収差

図 5.5.11 の左端の図は正しい方眼、中央の図は糸巻型歪曲、右端の図は樽型歪曲である。従って、正しい方眼を投映した時、ドーム上に糸巻型の像が投映される場合は、原板を予め樽型にしておけば良いことになる。そこで、投映レンズの歪曲収差の表またはグラフから、それぞれの星の位置を補正しておくのである。

表 5.1 GN-18m 用恒星投映レンズの歪曲収差

$\alpha^\circ$	$\tan \alpha$	Dis.	$\alpha^\circ$	$\tan \alpha$	Dis.
26	0.487732	-0.58406	12	0.212556	-0.08111
24	0.445228	-0.46074	10	0.176326	-0.05232
22	0.404026	-0.36155	8	0.140540	-0.03199
20	0.363970	-0.28004	6	0.105104	-0.01754
18	0.324919	-0.21378	4	0.069926	-0.00766
16	0.286745	-0.16029	2	0.034920	-0.00189
14	0.249327	-0.11740			

つぎに、この表の  $\tan \alpha$  を  $x$ 、Dis. (歪曲収差) を  $y$  として、最少自乗法にかけ、それぞれの係数を求め、以下のような式を得る。

$$Dis. = -3.33560K^4 + 0.31848K^3 - 1.89840K^2$$

$$+ 0.04132K - 0.0005516 \dots \dots \dots (14)$$

ここで、 $K$  は  $\tan \alpha$  であるから、

$$K = \sqrt{X^2 + Y^2}/b \dots \dots \dots (15)$$

である。従って、

$$D = 1 + (Dis./100) \dots \dots \dots (16)$$

とすると、原板上の恒星の  $X$ 、 $Y$  座標は、

$$PX = X \times D, PY = Y \times D$$

となる。この一連の計算を「偏心計算」という。

### < 恒星の明るさの再現 >

つぎに、恒星の明るさであるがプラネタリウムの場合、星の明るさは星の大きさで表現している。1830 年、ジョン・ハーシェル (John F. W. Herschel) は、恒星の等級と明るさとの関係を詳しく研究した結果、1 等星の平均の明るさは 6 等星の平均の明るさのほぼ 100 倍であり、しかも、1 等級の光度差はどの等級の星の場合でもほとんど一定の強度比に相当することを発見した。これは、「光の強度が幾何級数的に増加するとき、光に対する眼の感覚は算術級数的に増加する」というフェヒナー (G. T. Fechner) の法則と一致する。

そこで 1850 年、ポグソンは (N. R. Pogson) ジョン・ハーセルの発見した法則があらゆる明るさに対して常に成立するものと仮定して、光度を厳密につきのように定義した。

5 等級の光度差は、正確に 100 倍の明るさの違いに相当するとし、1 等級の光度差に相当する明るさの比を、正確に 100 の 5 乗根ととり、こうして明るさから計算した等級差によって、各恒星の光度を数量的に定める。

今、光比を  $v$  とすれば、 $100 = v^5$  であるから

$v = \sqrt[5]{100} = 100^{1/5} = 10^{2/5}$  となる。対数計算によって、

$$v = 10^{2/5} = 2.511886431 \dots \dots \dots (1)$$

$$\log v = 2/5 = 0.4 \dots \dots \dots (2)$$

即ち、光比の対数は正確に0.4であり、光比は約2.5となる。一般にm、nの等級に相当する明るさを、それぞれJm、Jnとすれば、ポグソンの定義によって、

$$Jm/Jn = v^{n-m} = 10^{0.4(n-m)} \dots \dots \dots (3)$$

両辺の対数をとれば、

$$\log Jm - \log Jn = 0.4 (n - m) \dots \dots \dots (4)$$

$$n - m = 2.5 (\log Jm - \log Jn) \dots \dots \dots (5)$$

(4) と (5) によって等級と明るさの相互換算ができる。

ところで、プラネタリウムにおける恒星投映機は、恒星投映筒1つ1つに光源のある分かれた投映機ではなく、全天を南北2つに分けて、それぞれ1つの光源を持った投映機2個からできており、さらに、それらの投映機には16個の投映筒がついていて、32個の投映筒で全天をカバーするようになっている。従って、プラネタリウムの恒星における単位面積あたりの明るさは、どの等級の星でも同じである。そこで、プラネタリウムの恒星の等級は、面積すなわち直径の変化によって表している。

今、1等級の光度差に相当する直径の比をrとすれば、 $10 = r^5$ であるから $r = \sqrt[5]{10} = 10^{1/5}$ となる。従って、m、nの等級に相当する恒星の直径を、それぞれRm、Rnとすれば、上記の式は、

$$Rm/Rn = r^{n-m} = 10^{0.2(n-m)} \dots \dots \dots (6)$$

$$n - m = 5 (\log Rm - \log Rn) \dots \dots \dots (7)$$

となり、(6) と (7) で等級と直径の相互換算ができる。

そこで、6.5等級以下の恒星の直径を0.01mmとし、上記の方法で計算し階差表にしたのが、図5.5.12である。ただし、投映されたときの最大直径を、角度の4'以下にするために0.85等以上の恒星を別投映にした。

ただ、当時のM-1型の恒星原板には、6等星まで4,500個の恒星が入れられた。基になったのは、当時比較的入手し易かったチェコスロバキアのアントニー・ベクバル (ANTPNIN BECVAR) の「Atlas Coeli Skalnaté Pleso II 1948」という星表である (図5.5.14)。

< 恒星原板の作成 >

ここで、恒星原板がどのように作られたかを述べるが、五藤光学の場合大きく3つの時代に分けることができる。

- ①は、M-1型、L-1型、M-2型、S-1型を開発した1960年代。
- ②は、Gシリーズと言われたGX-10型、GM-15型、

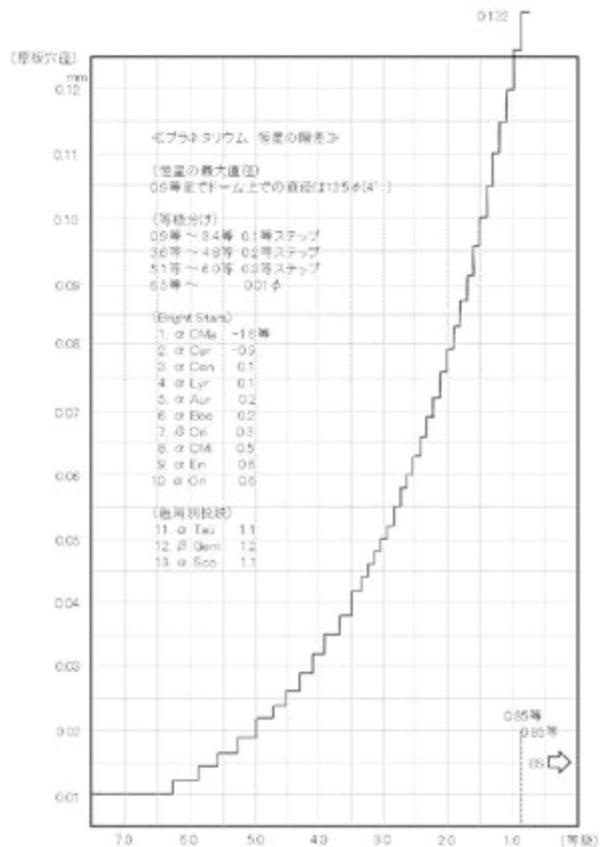


図 5.5.12 恒星の階差表



図 5.5.13 GSS-1 型の恒星原板



図 5.5.14 SKY PUBLISHING 版のベクバル星表 1964

GN-18 型を開発した 1970 年代。

③は、GSS- I 型、GSS- II 型の宇宙型を開発した 1980 年代である。

恒星原板 (図 5.5.13) のことを「プレート」というが、それを作るための種板を「マスター」と呼び、さらに種板の 10 倍の大きさで作られる原画を「アートワーク」という。

恒星原板を作成する上で重要なのは、如何にしてアートワークを作るかということである。

①のプラネタリウムが開発された当初のアートワークは、例えば S-3 型の場合、厚さが 0.3mm で 40cm 角の真鍮板に 10 倍の大きさで、恒星原板のマスク中心とマスク角の位置が印され、赤経・赤緯の座標線がケガかれた。その後、1~2 等星の明るい星は偏心計算によって、その他の星は比例計算で位置が印され、0.1mm とか 0.2mm などの非常に細いドリルを使って恒星の穴を開けるという方法で作成された。

②は、武藤工業 (現: MUTOH ホールディングス) 製のマイクロプロッターを使い、ストリップコート (透明なマイラーベースと呼ばれるフィルムに、赤い薄い膜がコートされたもの) をカットして作成された。

③宇宙型プラネタリウムが開発された 1980 年代は、アートワークを作らずに、電子銃をコンピュータで制御し、ガラス板に蒸着されたチタン幕に穴を開けるという方法で直接原板が作成された。

そこで、ここではストリップコートでアートワークが作られた方法について詳しく記述しておこうと思う。まだ、今日のようなパーソナルコンピュータもなく、やっと四則演算のできるメモリーが 1 つのシャープ製電卓「ファシット」が 30 万円もした時代に、9,000 個の恒星のアートワークを手作業で作った話である。

まず、事前準備として下記のことを行う。外径が 3.1mm の黒い丸で、その中心に先に計算した恒星の直径の 10 倍の透明な部分のある「タイプトーン」と呼ばれる裏面に糊のついたシールを恒星の数だけ作っておく。また、9,000 個の恒星の中から変光星だけをピックアップし、全て最大等級にし偏心計算用のデータを変更する。つぎに、全国光学工業組合の大型コンピュータを使って 9,000 個の恒星をマスク分割して偏心計算をする。そのマスクごとにちょうど 10 倍の恒星の X、Y 座標と等級をプリントしたデータを用いて、マイクロプロッターを使って B1 のケント紙に全ての恒星の円を描く。その後、描かれた恒星を一つ一つルーペで覗き、恒星どうしが接して達磨のようになっているものや、重なって横に伸びたようになっているものがないか調べ、そのような場合は 1 個の星として

合成等級を求め、偏心計算用のデータを書き換える。

こうして、変光星と二重星の修正されたデータを用いて再度偏心計算を行う。そして、マスクごとにプリントされた恒星の、星名、X と Y の座標、直径を用い、マイクロプロッターにセットされたカッターを使って、今度はストリップコートに恒星の位置に一律に直径 3mm の円を描き赤色のコートを剥がす。そして、その傍らに星名と等級を鉛筆で書いておく。こうして、9,000 個の星の位置に 3mm の穴の開いた 32 枚のマスクのストリップコートを作る。

つぎに、1m 角のライトボックスのテーブルにストリップコートを載せ、その周囲に 4 人の作業人を配置し、直径 3mm の穴の開いたストリップコートにその恒星の等級にあった外径が 3.1mm のタイプトーンを、ズレのないように貼って、星の穴のところに空気の泡がないかルーペで確かめながら、先の丸い棒でこすって仕上げる。この作業を 9,000 個の恒星について行うのである。

こうして、10 倍の大きさで作られたストリップコートのアートワークを、写真製版用のカメラで 1/10 に縮小撮影して乾板を作る。それを、種板として市ヶ谷の大日本印刷に送り、カラーテレビ用のシャドウ・マスクを作る製法と同じニッケルスパッタ方式で、恒星原板が作られた。1970 年代のプラネタリウムの恒星原板はこのように手間暇をかけて作られたのである。

つぎに、恒星の投映レンズであるが、当時、五藤光学では本体の設計製作と惑星棚の開発で手一杯で、とても恒星投映レンズを開発するまでの余裕はなかった。

そこで、小西六写真工業 (現: コニカミノルタ) 製のヘキサ (Hexar) 75mm/F3.5 を採用した。このレンズは小西六の前身の六桜社が 1931 年に発表して以来、改良を重ねて来た 4 枚構成のテッサータイプのレンズで、長い間小西六のテッサーとして親しまれていたものである (図 5.5.15)。

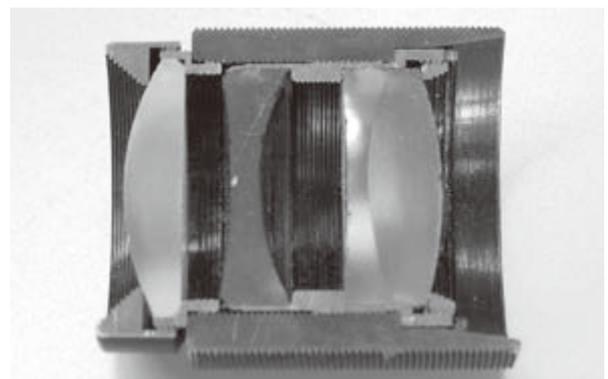


図 5.5.15 恒星投映レンズ

## < 恒星シャッター >



図 5.5.16 恒星シャッター

恒星シャッター（図 5.5.16）は、投映レンズのまわりにベアリングによって自由に回転する枠があり、その枠に 1/4 球のお椀状の遮光板が、ピボットによって上下に回転するように取付けられている。

それが恒星投映筒に組込まれて図 5.5.17 のようになっている。

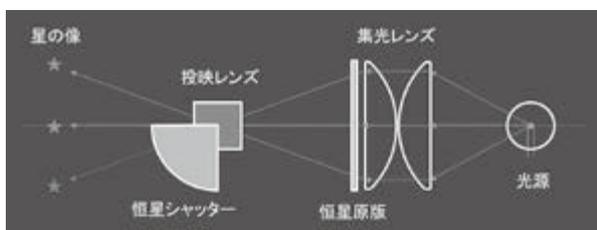


図 5.5.17 恒星投映筒の模式図

つまり、投映レンズから出た恒星の光は、地平線より下に星の像が映らないように、恒星シャッターで遮るようになっている。ところが、図 5.5.17 の光源がちょうどドームの地平線上にあり、投映筒が水平の時が良いが、そうでない場合はどうなるだろうか。

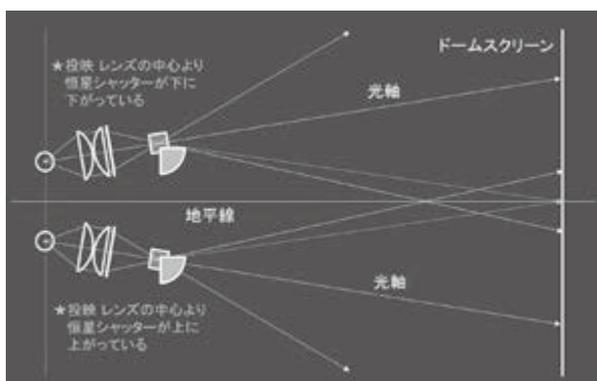


図 5.5.18 恒星シャッターの偏心

図 5.5.9 の B が光源（電球）で、ドーム中心よりも黄極方向に少し離れた位置にある。従って、図 5.5.18 の上の方の投映筒のような場合、恒星シャッターがなければ、地平線よりわずかに下まで星が映ることになる。そこで、星がちょうど地平線のところで遮蔽されるように、光軸よりも少し下になるように恒星シャッターが設置されているとよい。

また逆に、図 5.5.18 の下の方の投映筒の場合は、恒星シャッターがなければ、地平線よりわずかに上まで星が映ることになる。そこで、星がちょうど地平線のところで遮蔽されるように、今度は光軸よりも少し上になるように恒星シャッターが設置されていけばよいことになる。

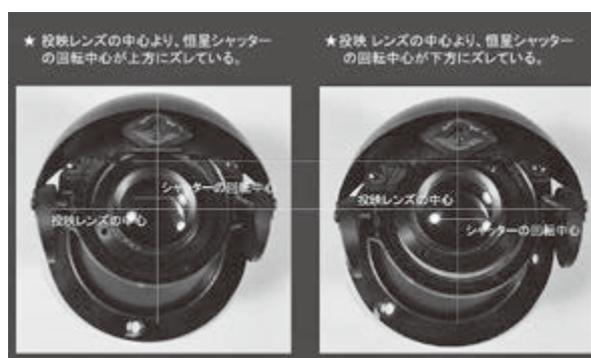


図 5.5.19 恒星シャッターの偏心機構

図 5.5.19 で、左右 2 つの写真は、投映レンズの中心が同じ高さになるように並べてられている。投映レンズ枠には、偏心メタルがねじ込まれており、その外側にはベアリングを介して回転する枠に、1/4 球のお椀状の遮光板がピボットによって上下に回転するように取り付けられている。ただし、左側の写真の方は、偏心メタルの幅の狭い方は下になっているが、右側の写真の方は、偏心メタルの幅の広い方が下になっている。従って、回転する枠に取り付けられたカウンターウェイトが、右側のものより上になっていることがわかる。

このように、恒星投映筒が三軸中心から離れている距離によって、1/4 球のお椀状の遮光板が正しく上下するように、偏心メタルの偏心量が定められているのである。

## < 天の川の再現 >

月のないよく晴れた夜、外に出て空を見上げると、星々の間をぬって一筋の白い雲のような薄い光の帯が横たわっているのを見ることができる。これが天の川だ。これは、銀河系を形作っている星々を、その内側から見た姿である。天の川は、ペルセウス座、ケフェウス座、はくちょう座、わし座、たて座、いて座、さそり座、ケンタウルス座、南十字星、りゅうこつ座、

とも座、おおいぬ座、いっかくじゅう座、オリオン座、ふたご座、ぎょしゃ座を通り空を一周している。

近年では、街中の灯りも相当明るくなり、1等星とか2等星のような明るい星でないと見ることが出来なくなったが、登山やキャンプに行った時に空を見ると、天の川は決して一様ではなく、明るいところや暗いところがあり、また、幅の広いところや狭いところのあることに気づく。

いて座の方向に天の川がふくらんでいることから、銀河系は多くの銀河（銀河系外星雲）に見られるように、中心部がふくらんでいると解釈される。また、反対側のぎょしゃ座やペルセウス座の方向が狭くなっているという非対称性から、私たちは銀河系の中心からかなり離れたところにいると考えられる。

一方、天の川の上下部分がほぼ対称なことから、私たちは銀河系の中心面、つまり銀河面の近くにいることが分かる。さらに、天の川の中央に沿って暗黒の部分が複雑に入り組んで見えるのは、実際に星がないのではなく、星の光を吸収する物質があるためであり、銀河系には星だけでなく星間物質も非常に多く分布していることを示している。

天の川を注意深く観察すると、これだけのことが分かるのであるから、プラネタリウムの天の川も、できるだけ自然に近い形で投映することが重要である。

天の川は、恒星とは別に恒星球上に取り付けられた、単独の投映機によって再現される。投映機は、図5.5.20のような円筒になっている。

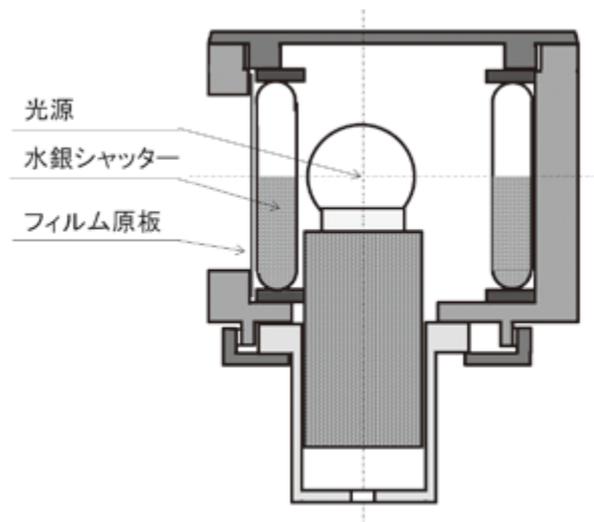


図 5.5.20 天の川投映機

中央に光源があり、そのまわりに地平線以下を遮光する円筒形の水銀シャッターがあり、その外側に天の川のフィルム原板がある。従って、光源から出た光は、天の川が地平線より上にある場合は、水銀シャッ

ターの水銀のないところを通り、フィルム原板を通してドーム上に天の川の像が投映される。もし、天の川が地平線よりも下にある場合は、光源から出た光は水銀シャッターの水銀によって遮断され、天の川の像が投映されない構造になっている。

図 5.5.20 から明らかなように、天の川のフィルム原板は円筒形であり、投映するドームは球形であるから、投影図法の問題が出てくる。投影図法については、地図や海図の分野で研究されている。狭い地域では地球の曲率は問題とはならず、平面と考えることができる。しかし、広範囲に亘る地図、特に世界地図などでは球面上の地形を平面に表すので、形や面積が実際とそっくり一致するような地図を作るのは不可能である。そこで、球面を平面に投影するいろいろな方法が講じられている。例えば、地球の中心から地表面を見て、それを円錐や円筒のような、それを切り開いて平面とすることのできる曲面上に投影する投影法を「透視投影」という。透視投影にも多種あるが、そのうち最も重要なものに「等積投影」と「相似投影」がある。天の川のフィルム原板を製作する上での投影図法としては、相似投影のメルカトル図法が最適と考えられる。

つぎに、天の川の図柄であるが、1957,8年当時、天の川全体を正確に表したものを見つけることができなかった。そこで、ノルトン星図（NORTON'S STAR ATLAS AND TELESCOPIC HANDBOOK）の巻末に掲載されている「天の川の図」を参考に、エアブラシで描いたものを使用していた。

1960年代になって、株式会社 恒星社厚生閣から発行された新天文学講座の第8巻『銀河系と宇宙』の口絵に、スウェーデンのルンド天文台（Lund Observatory）のマルチン・ケスキュラ夫妻（M. and T. Keskula）が点描で描いた天の川を中心とした「銀河図」（図5.5.21）が掲載された。

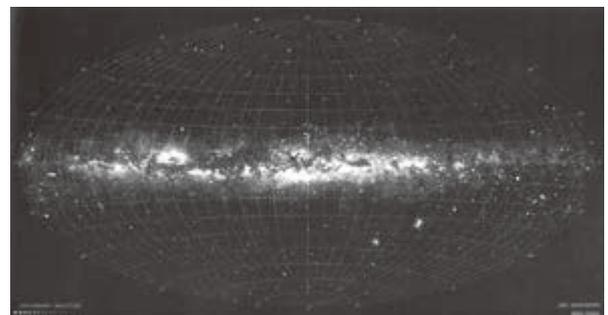


図 5.5.21 ケスキュラ夫妻の描いた「銀河図」

そこで、1960年代の半ば頃から、ケスキュラ夫妻の作られた「銀河図」を参考に天の川の原板が作られるようになった。さらに、1978年頃ルンド天文台の

許可を得て、「銀河図」から直接写真処理した原板を使うようになった。

そして、1983年に宇宙型プラネタリウムを開発したとき、天の川の絵柄をもっとリアルなものにしようと考えた。天の川全体を最も良く表したものに、先に紹介したルンド天文台のケスキュラ夫妻の「銀河図」がある。また、ヤーキス天文台の写真からモザイク的に作られた「ATLAS OF THE NORTHERN MILKY WAY」や、バイレー (S. I. Bailey) とシュルツ (L. C. Shultz) の写真からモザイク的に作られた「THE SOUTHERN MILKY WAY」などがある。しかし、このような絵や写真からは、天の川のある部分がどのくらいの明るさになっているかを知ることができないので、天の川のフィルム原板を作る資料としては不適當である。むしろ、等濃度 (光度) 曲線のようなものによって描かれたものの方が良い。そのようなものを探すと以下のようなものがある。

1. Hopmann, J. Eine neue Milchtrabenkarte.
2. Graff, K.  
Die Umriss und Helligkeitsverhältnisse der Milchstrabe nordlich von 25 sudlicher Deklination.
3. Wolf, M.F.J.C  
Photographischs Photometrie der Nordlichen Milchstrasse.
4. Pannekoek, A. Die Nordliche Milchstrasse and Die Sudliche Milchstrasse.  
1. は非常に大雑把であり不適當である。  
2. は南天しかないので使用できず。  
3. は非常に詳しいが、北天の銀緯が +15° から -15° までしか使用できない。  
4. は適当に詳しく、しかも天の川全周にわたって銀緯が +30° から -30° まで描かれているから、天の川のフィルム原板を作る資料としては最も適當である。因みに、ベグバル星図やスカイアトラス 2000 などの天の川も、これを基にして描かれている。

これらの原本は、北天のものは東京天文台 (現: 国立天文台) に、また、南天のものは東北大学天文学教室の図書館にあったので、それらをお借りして天の川のフィルム原板を作ることにした。幸い、パーンネクーク (Antonie Pannekoek) の南北両方の本の巻末には、10 段階の等濃度 (光度) 曲線で表した天の川の図が載っている。そこで、この図を使うことにした。

ところで、作画の前に、天の川の複雑に入り組んだ形態と濃度差を、どのような手法で表現するかを決めなければならない。それには、エアブラシなどで描く方法と、新聞の写真のように網点の濃さによってデジ

タル的に表現する方法がある。しかし、エアブラシによる方法は、これまでの経験からあまりうまく行かないことが分かっている。そこで、4 段階の網点の濃さによって表現することにした。

また、五藤光学のプラネタリウムの天の川投映機は、南北に分けてそれぞれの恒星球上に取り付けられている。従って、天の川のフィルム原板も南北に分ける必要がある。そこで、各機種について調べてみたところ、特殊な仕様のもは別にして、北側のものは春分点方向に、南側のものは秋分点方向に取り付けられている。これによって投映範囲を計算すると、北側のものは銀経が 0° から 180°、南側のものは 180° から 360° で良いことが分かる。ただし、パーンネクークの図は、カプタイン (Jacobus Cornelis Kapteyn) 時代の旧銀河座標になっているので、これを換算すると北側は 327° から 147°、南側は 147° から 327° となる。また、多少投映機の取付け位置がズレていても調整できるように、実際の天の川のフィルム原板は、それぞれ 20° づつ余裕をとってある。

パーンネクークは、天の川の明るさの最も暗いところを 0、最も明るいところを 100 として 100 段階の数値で示している。巻末の図は、この数値を基にして 10 段階の等濃度曲線で描いている。30 以上の部分は非常に少ないので、天の川のフィルム原板では、10 から 14 までを A、15 から 20 までを B、21 から 29 までを C、30 以上を D とし、網点の濃さを次表のように決定した。

表 5.2 網点の濃さ

	明るさ	網点の大きさ	網点濃度	透過率
A	10-14	100 線	30%	30%
B	15-20	100 線	50%	50%
C	21-29	100 線	70%	70%
D	30 以上	100 線	ベタ	100%

このようにして作られたのが、図 5.5.22、5.5.23 に示した天の川フィルムである。

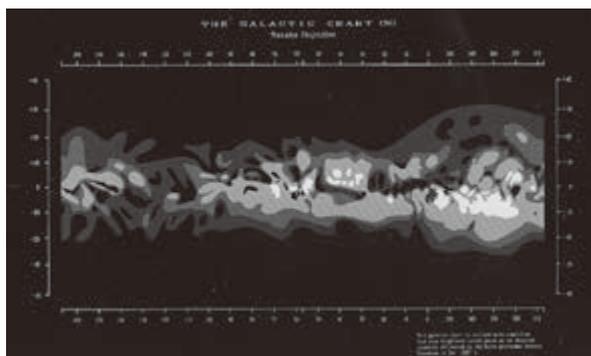


図 5.5.22 天の川原板フィルム (北)

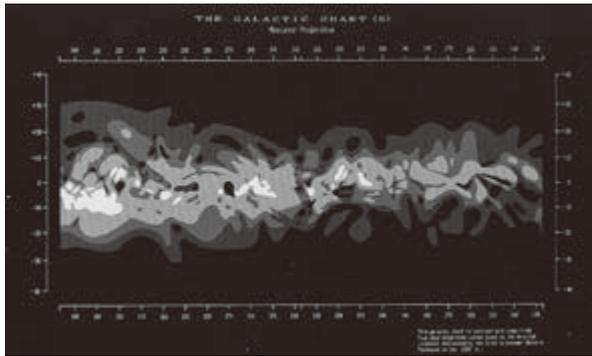


図 5.5.23 天の川原板フィルム (南)

## 5.6 惑星投映機

プラネタリウムを構成する機能で重要なものは、自然な星空を再現する「恒星投映機」と、星空の日周運動や歳差運動、緯度回転を再現する「3つの運動軸」、それから、地球上から眺めた惑星の運動を再現する「惑星投映機」の3つである。プラネタリウムは、その名の示す通り惑星の運動を忠実に再現して見せる装置であるから、プラネタリウムにとって「惑星投映機」は、最も重要な機能である。

ところで、夕方、太陽が西の地平線に沈み、まだ薄明かりが残る頃、ひととき明るく輝く星を見ることがある。これが「宵の明星」と呼ばれる星で、私たちの太陽の周りを回る惑星の一つの金星である。



図 5.6.1 宵の明星 (金星)

また、この金星は、しばらく後には「明けの明星」として、夜明け前の東の空に見られるようになる。しかし、金星は、真夜中には見ることはできない。これは、水星についても同じことが言える。これらのことから、水星と金星は、地球の内側を回る内惑星であることが分かる。

図 5.6.2 において、S が太陽、E が地球、P が惑星とすると、地球と惑星は太陽の周りを時計の針とは逆方向に回る。分かり易いように、地球を太陽の左側に固定して考えると、惑星 P は①から、②、③、④と回っ

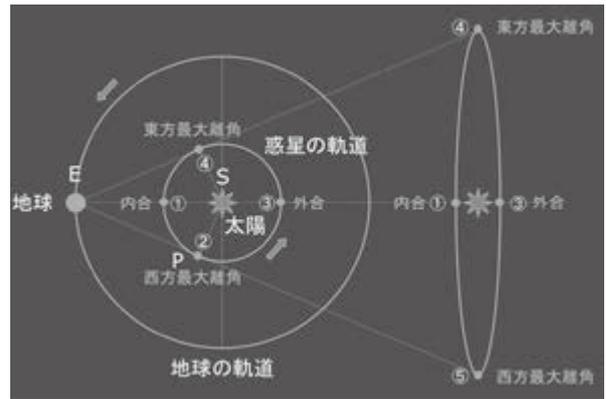


図 5.6.2 内惑星の現象

て①に戻って来る。①の時は、惑星は地球から太陽と同じ方向に見え、ちょうど太陽と地球の間にあるので「内合」という。②の時は、惑星が明け方、東の空に太陽から最も西に離れて見えるので、「西方最大離隔」という。③の時は、惑星は地球から太陽と同じ方向に見え、太陽の向う側にあるので「外合」という。そして、④の時は、惑星が夕方、西の空に太陽から最も東に離れて見えるので、「東方最大離隔」という。このように、惑星は太陽からある距離以上離れることがないので、内惑星は夜中に見えることはないのである。

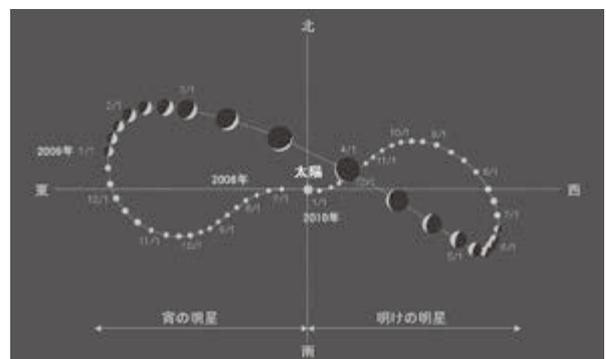


図 5.6.3 太陽に対する金星の動き

図 5.6.3 は、太陽を固定して 2008 年 7 月 1 日から 2010 年 1 月 1 日までの地球から見た金星の位置を示したものである。金星が太陽の向う側にある外合の時は満月のように金星の全面が輝いているが、東方最大離隔の時は上弦で内合に近づくに従って三日月形になる。

また、図 5.6.4 のように、赤く輝く火星を数ヶ月に渡って観察すると、しし座のレグルスのすぐ北から東の方に進み、ししの後ろ足のところでループを描き、再びおとめ座のスピカに向って東に進み、てんびん座、さそり座と進んで行く。このように火星はとても複雑な動きをするが、このような動きは木星や土星についても見られる。これは、それらの惑星が、地球の外側にあって、太陽の周りを回る外惑星だからである。

## 投影機と投映機

筆者が、プラネタリウムの仕事に携わってしばらく経った1970年代のはじめ頃、プラネタリウム関連の組織が3団体あった。勿論、最初に出来たのは、ツァイスのプラネタリウムを備えた施設どうしの情報交換を目的とした組織で、日本プラネタリウム協会（JPS）である。その後、プラネタリウムメーカーが主催する組織が出来た。五藤光学製のプラネタリウムを設置した館で構成されたのが、日本プラネタリウム研修会（後の日本プラネタリウム研究会）で、ミノルタ製のプラネタリウムを設置した館で構成されたのが、全日本プラネタリウム連絡協議会である。その後、3団体が統合し日本プラネタリウム協議会（JPA）となった。

ところで、それらの組織でときどき論争になる問題があった。それは、プラネタリウムに付随したいろいろなトウエイキを、投影機と書くか投映機と書くかという論争である。投影機派は、辞書には投影という語はあるが、投映という語はないから投影機と書くのが正しいという。また、投映機派は、プラネタリウムのトウエイキは、影を映すのではなく映像を映すのだから、投映機と書くのが正しいと譲らない。

確かに、新村 出編の『広辞苑』第7版には、「投影」という語はあるが「投映」はない。しかし、【投影】の意味は、①物の姿を他にうつすこと。また、その影・姿形。②物の見え方や解釈の仕方に、心の内面が表現されること。また、物事が他に影響すること。「時代精神の一」③投影図法によって平面上に描かれた図形。また、その図形を描くこと。投象。射影。と解説されている。従って、②は別にして、①のうつった影や③の図法によって描かれた図形や図形を描くことを、トウエイすることは出来ないで、「投影機」という語はないことになる。なるほど、広辞苑には「とうえいき」という見出し語はない。

それでは、投映機の方はどうだろうか。「えいが」を広辞苑で引いてみると、【映画】長いフィルム上に連続撮影した多数の静止画像を、映写機で急速に順次投影し、眼の残像現象を利用して動きのある画像として見せるもの。とある。そこで、代数のように、映写機で急速に順次投影しの「投影」に、上記の投影の意味①または③を代入すると、とんでもないことになってしまう。そこで、「投影」を映写機の「映写」と置き換えると、映写機で急速に順次映写し、となり意味のある文章になる。従って、この場合は、投影＝映写と考えた方よいようだ。

それでは、映画のように多数の静止画ではなく、1枚の静止画を映写する映写機は何というのであろうか。広辞苑で探してみると、「げんとう」という見出し語に行きあたる。【幻灯】の意味は、(magic lantern の訳語) ガラス板に描いた絵や陽画フィルムあるいは絵画・写真・実物などに強い光りをあて、その透過光または反射光を凸レンズによって拡大映写すること、また、その装置。うつし絵。——き【幻灯機】幻灯を映写する装置。→スライド・プロジェクター。とある。従って、映写＝投映として、トウエイキは「投映機」と記した方が良いように思う。

ところで、広辞苑の編者は 新村 出（しんむらいずる）で、1876年山口県生まれの言語学者である。著書に「南蛮更紗」（1924年改造社）や「南蛮広記」（1925年岩波書店）などがある。この新村 出の弟が、実は関口鯉吉という天文学者である。大学を出て気象庁に入り、神戸海洋気象台長を勤めたが、同所にあったイギリスのクック社製の口径10インチ（25cm）赤道儀を使って盛んに太陽の観測研究を続け、『太陽』と題する大冊の文献を出版して学位を取った。この関口鯉吉の弟子が鈴木敬信で、1929年に東京大学の天文学科を卒業すると、上野の科学博物館の主任研究員になった。その後、東日天文館に嘱託として出向し、プラネタリウムの計画段階から組立調整、学芸員の訓練まで一人でやった。

そのようなことから、新村 出は、天文についても造詣が深く、先の「南蛮更紗」の中に、「日本人の眼に映じたる星」をはじめ6編の星に関する文章を載せている。新村 出は、1967年（昭和42年）8月の没であるから、当然プラネタリウムは見えていたであろう。存命ならば、トウエイキを何と書くべきか聞いてみたかった。因みに、五藤光学とコニカミノルタは、カタログなどに「投映機」を使い、大平技研は「投影機」を使っている。



図 5.6.4 火星の動き

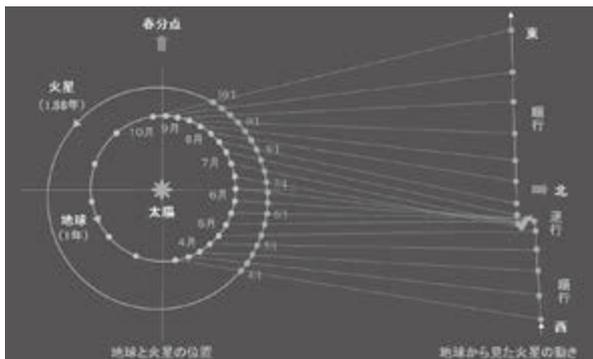


図 5.6.5 火星の公転と見え方

図 5.6.5 の左側は、地球と火星の公転する様子を北側から見たところで、右側は、地球から火星を見たところである。地球は、太陽の周りを1年で1周するが、火星は2年近く(1.88年)もかかる。そのため、途中で地球に追い抜かれる、図 5.6.5 の右側のような経路を描いて星空の中を進んで行くように見えるのである。因みに、惑星が星空の中を西から東に進むことを「順行」といい、東から西に進むことを「逆行」という。また、順行から逆行に代わる時、一瞬止まる時がありそれを「留」という。こうして、内惑星と外惑星を組合せると太陽系ができて上がる(図 5.5.6)。

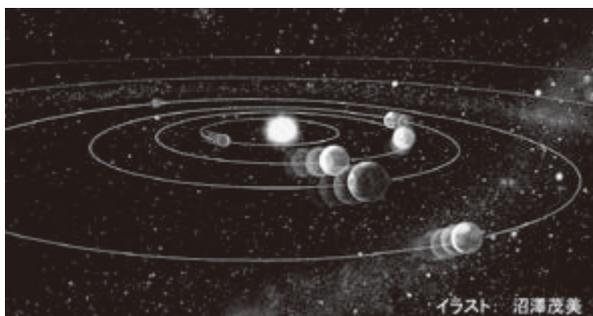


図 5.6.6 太陽系<sup>(4)</sup>

プラネタリウムでは、太陽系の天体の内、太陽、月、水星、金星、火星、木星、土星の各天体を地球から見た位置に投影するのが「惑星投影機(惑星棚)」である。

図 5.6.7 は、五藤式プラネタリウム M-1 型の惑星投

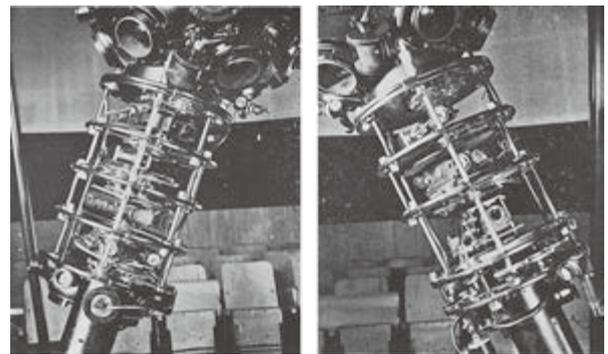


図 5.6.7 プラネタリウムの惑星投影機

映機(惑星棚)の写真である。左側が南天用の惑星投影機で、恒星球に近い方から、金星、火星、木星、土星の棚である。また、右側が北天用の惑星投影機で、恒星球に近い方から、水星、太陽、月の棚である。

それでは、惑星投影機はどのような機構になっている、惑星の運動を地球から見た惑星の位置に投影して見せているのだろうか。

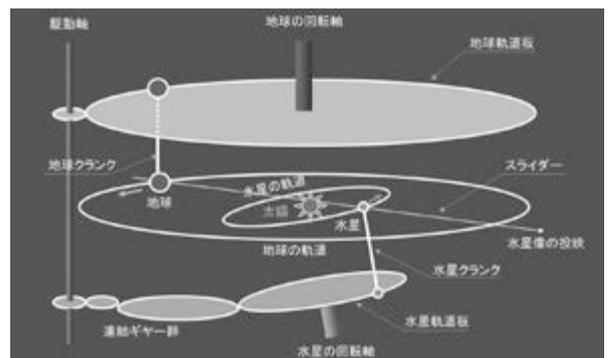


図 5.6.8 水星投影機構の模式図

図 5.6.8 の中で、中央の天体が太陽、その周りを約 7° 傾いて公転している天体が水星、その外側を公転している天体が地球である。そして、実際の空では水星が約 88 日、地球が約 365 日の周期で反時計回りに回転している。しかし、このように、二つの天体の軌道が重なっていたのでは、それぞれの軌道を機械的に別々に回転させる模型を作ることはできない。

そこで、水星の位置から水星の軌道に垂直に棒(水星クランク)を下し、そこに水星の軌道と平行な水星軌道板と呼ばれる円板を設ける。同様に、地球の位置から地球の軌道に垂直に棒(地球クランク)を上げ、そこに地球の軌道に平行な地球軌道板と呼ばれる円板を設ける。そして、水星と地球をスライダと呼ばれる棒(計算棒とも呼ばれる)で結び、そのスライダに地球から水星の方に向けて、水星像を投影する投影機を取り付ける。そして、地球軌道板と水星軌道板を、それぞれの公転周期の比で回転すれば、地球から

見たときの水星の動きを再現するモデルを作ることができる。

ところで、これまでは惑星の軌道を円としたので、動径（太陽から惑星まで）は一定で、惑星の運動速度も一様であるとした。しかし、実際の惑星の軌道は、円ではなくわずかに扁平した楕円である。このような軌道を公転する惑星の運動を支配する法則は、ドイツの天文学者ケプラー（Johannes Kepler）によって発見されケプラーの三法則と呼ばれている。

- (1) 各惑星は太陽を焦点とする楕円上を運動する。
- (2) 太陽と惑星を結ぶ動径は、等しい時間に等しい面積を描く。
- (3) 惑星の公転周期の自乗は、惑星と太陽の平均距離の三乗に比例する。

(1) と (2) は、プラネタリウムの惑星投映機を考える上で最も重要で、惑星の運動をどのような機構で再現するかが最大の問題となる。

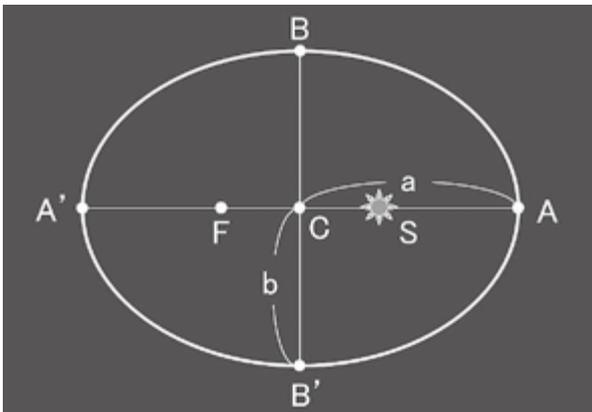


図 5.6.9 楕円軌道

図 5.6.9 において、S を太陽、ABA' B' を惑星の軌道、F を太陽以外のもう一つの焦点、C を楕円の中心、AA' を楕円の長軸、BB' を楕円の短軸とする。今、CA を半長軸といい a で表し、CB' を半短軸といい b で表す。そして、楕円の中心から太陽までの距離 CS を、楕円の中心から A までの距離 a で割った値を、楕円の「離心率」といい e で表す。

この離心率 e が小さな惑星が楕円運動をしている時、離心率 e を 2 倍にして離心円運動すれば、ほぼ実際の惑星の運動を表すことができることが分かっている。以下はその説明である。

図 5.6.10 の中で、C を円の中心、a を半径とする円周 APB 上を天体 P が等速で動いているものとする。E が地球で、CE の距離を  $a\varepsilon$  と書く。ただし、 $\varepsilon$  は小さな値とする。C と E を結ぶ直線を延長して円周と交わる 2 点のうち、地球 E に近い A がこの天体 P の近地点で、遠い B が遠地点である。P を現在の天体

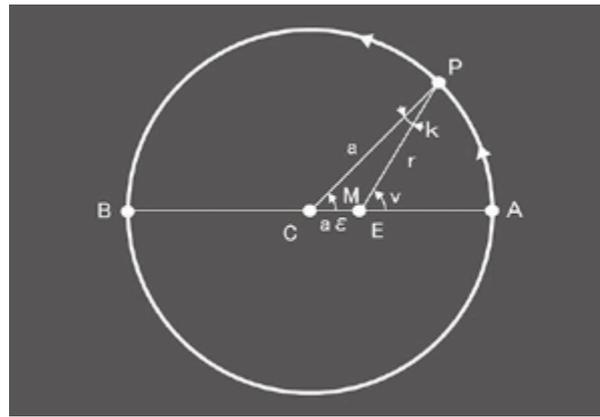


図 5.6.10 離心円運動

の位置とする。

$\angle ACP$  を M とすれば、M は時間の経過とともに増加する角で、天体 P の「平均近点角」という。

$\angle AEP$  を  $v$  とすれば、 $v$  は地球から見た天体 P の位置を表す角で、天体 P の「真近点角」という。

$\angle CPE$  を k とすれば、

$$v = M + k \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{または、 } v - M = k \dots\dots\dots(2)$$

となり、k は天体 P を E から見る場合の運動の不等を示すものとなる。つまり、P が A または B にいる時には  $M = 0$  または  $180^\circ$  であるが、 $k = 0$  となる。M が  $90^\circ$  または  $270^\circ$  にいる時には、k の値は最大または最小になる。ここで、k を「視不等角」という。

$\triangle CEP$  に平面三角形の正弦比例の法則を適用すると、

$$\{(\sin k) / a\varepsilon\} = \{(\sin v) / a\}$$

となり、従って

$$\sin k = \varepsilon \sin v$$

という関係が得られる。

$\varepsilon$  は小さな値であるから、その自乗を無視すると、

$$k = \varepsilon \sin v \dots\dots\dots(3)$$

となる。(3) を (2) に入れると、離心円運動の場合、

$$v - M = \varepsilon \sin v$$

となる。この右辺の v の代わりに (1) の  $M + k$  を入れ、 $\varepsilon$  の自乗を無視すると、

$$v - M = \varepsilon \sin M \dots\dots\dots(4)$$

となる。これに対して、正しい理論、即ち地球を焦点とする楕円軌道上を天体 P が動いているとする時、近地点方向から測った天体の真近点角を  $v'$  とし、楕円運動の離心率を e とすれば、 $e^2$  を無視して、

$$v' - M = 2e \sin M \dots\dots\dots(5)$$

を得る。従って、

$$v' - v = (2e - \varepsilon) \sin M$$

となるから、e の値の小さな楕円運動をしている場合には、

$$\varepsilon = 2e$$

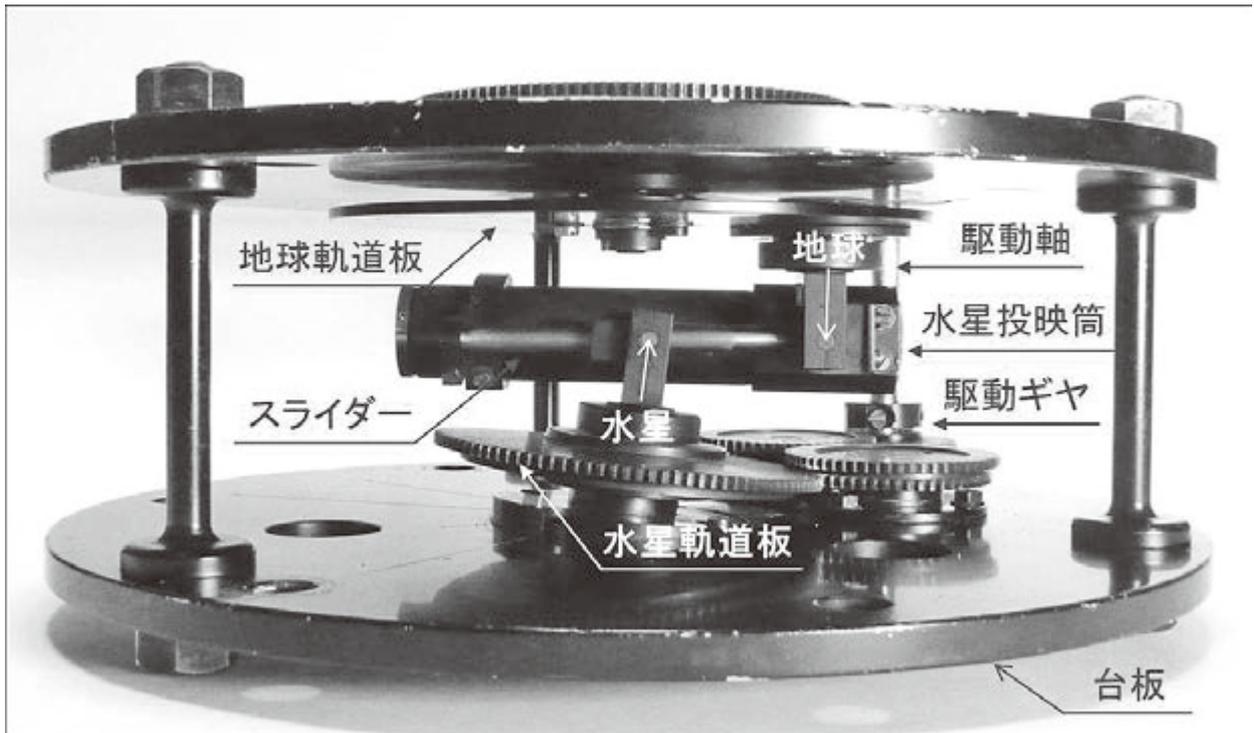


図 5.6.11 水星投映機

とすれば、離心円運動でほぼ実際の天体の運動を表すことができるというわけである。勿論、楕円でも離心円でも平均近点角は同じもので、天体の公転周期を  $U$  日とする時、 $360^\circ / U$  がその 1 日当りの変化量で、近日点を通過した時から現在まで  $t$  日経過しているとするれば、楕円でも離心円でもその現在の平均近点角  $M$  は、

$$M = (360^\circ / u) \times t$$

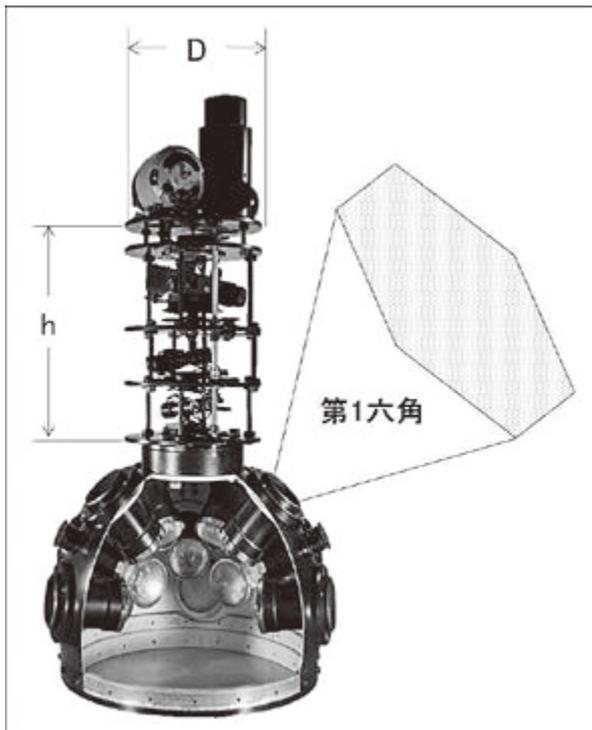


図 5.6.12 惑星投映機の大きさ

である。  $n \equiv 360^\circ / U$  のことを平均日々運動という。

図 5.6.11 は、M-1 型プラネタリウムの惑星投映機から、水星棚の部分だけを切り取ったものである。図中、水星の文字の矢印の先端が水星の位置で、地球の文字の矢印の先端が地球の位置である

そして、水星の位置から出た軸が下の水星軌道板に取付けられている。また、地球から出た軸が上の地球軌道板に取付けられている。そして、図からは見にくいですが、駆動軸に取付けられた駆動ギヤによってそれぞれの軌道板が回転し、スライダーに取り付けられた投映筒によって、水星像が地球から水星の方に投映され、地球から見た水星の運動が再現されるのである。

従って、一つの惑星を再現するために、必ずその惑星の軌道板と地球の軌道板の一組が必要になることが分かる。

惑星投映機の基本的な原理は、ドイツのカール・ツァイス社によって発明されたものである。それが、日本に輸入されるとそれを参考に国内でも開発されるようになり、やがていろいろ経験を積み独自の機構を考え出すようになった。

モリソン型の場合は、惑星投映機が恒星の両端に取り付けられているので、第 1 六角の恒星投映筒が遮られないように、また、投映筒がドームの中心から離れているので、投映筒が充分下に向くようにそれぞれの惑星棚の幅を考慮して全体の大きさが決定される。

まず、台板の大きさを決める。それには、惑星投映筒の大きさを決め、地球軌道板と惑星軌道板を設定

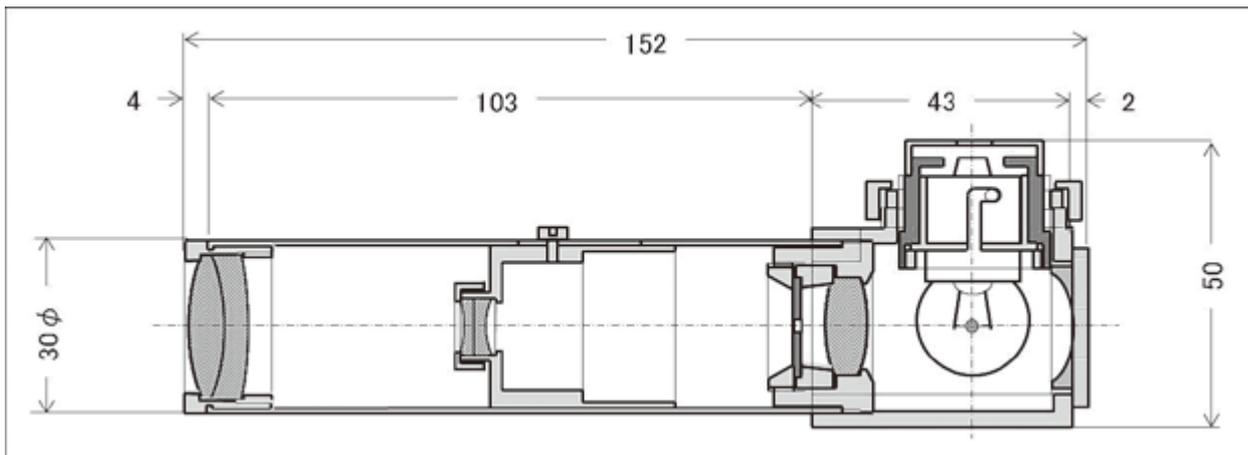


図 5.6.13 惑星投映筒の大きさ

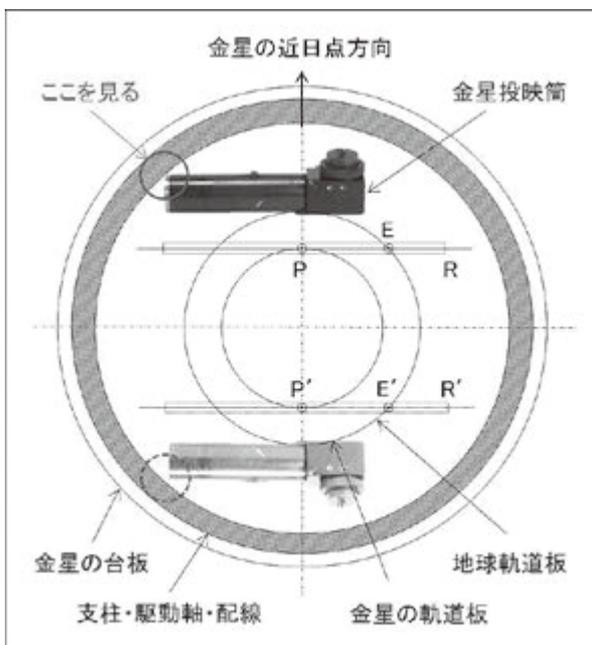


図 5.6.14 大きさを決める干渉チェック

し、それに投映筒を載せて軌道の平面図を作る。その時は、金星を使うのが良い。図 5.6.14 のように、金星を近日点に置き、そこから金星軌道に直線を引き、地球軌道との交点に地球を置く。

ここで、P と P' が金星、E と E' が地球で、R と R' が金星と地球を結んだスライダー（計算棒）であり、それに金星投映筒を抱かせてある。図 5.6.14 中、斜線のところは、金星の台板と上下の惑星台板とをつなぐ支柱や、駆動軸、配線のダクトの通るところである。従って、その部分に金星投映筒が干渉しないかをチェックするのである。近日点方向のつぎに、反対側の遠日点方向についても同様の干渉チェックを行う。もし、支柱に投映筒が当たるようであれば、それぞれの軌道半径を少し小さくして、再度チェックする必要がある。

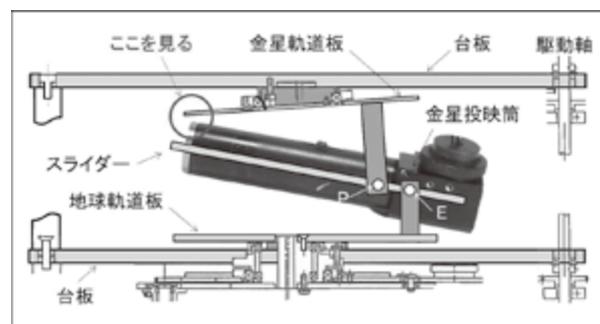


図 5.6.15 幅を決める干渉チェック

つぎに、台板の幅を決める。それには、金星と火星の投映筒でチェックするのがよい。

図 5.6.15 は、金星棚を金星の昇交点方向から見た図である。図 5.6.15 中、E が地球で P が金星の位置である。図 5.6.15 からも分かるように、地球と金星が最も近づいた時に、投映筒がギヤや軌道板などに干渉しないか否かをチェックする。

その他、木星と土星は、ズーム式の投映筒が付く場合にはチェックする必要がある。太陽や月についても、与えられた範囲で可能な限りの大きさや性能のものを設計する。

図 5.6.16 は、M-1 型プラネタリウムの子機である。月は、地球を焦点とする楕円運動をしているが、月の軌道運動は天体力学の中で最も難しい問題である。月の不規則な運動は、理論的に計算できるものであるが、その他に観測から得られる理論では説明できない項がある。その一つが長年加速である。このことは、1693 年にエドモンド・ハレー (Edmund Halley) がプトレマイオス (Ptolemaios) のアルmagest (Almagest) の中にある古代の月食と、9 世紀にアラビアの天文家によって観測された食を、ハレーの時代の食と比較して月の平均運動に長年加速のあることを知ったという。

その他、周期が 27.55 日の中心差、365.26 日の年差、

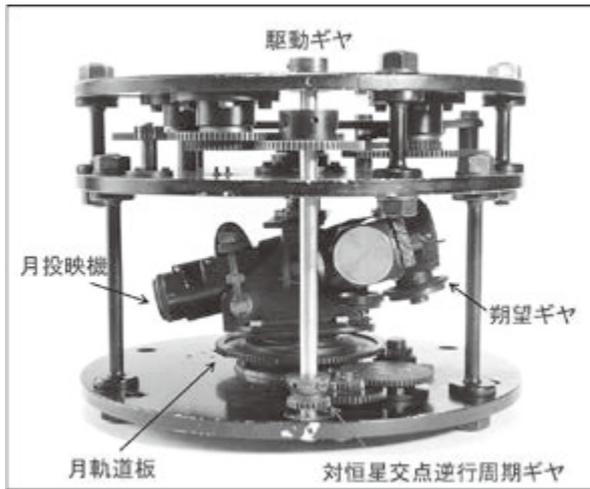


図 5.6.16 月投映機

31.81 日の出差、14.77 日の二均差、29.53 日の月角差などがある。

図 5.6.16 中、上方の幅の狭い棚の中にギヤがたくさん収められているが、これが上記の周期的な誤差を補正するためのものである。

朔望ギヤというのは、月の位相が 29.530589 日の周期で新月から上弦、満月、下弦、新月と変わる現象を再現するギヤである。また、対恒星交点逆行周期ギヤというのは、月の通り道のことを「白道」というが、この白道は黄道に対して約 5° 8' 傾いていて、その昇交点が黄道上を公転方向とは逆の方向に 18.61 年の周期で回転する現象を再現するギヤ列のことである。

つぎに、惑星棚の配列を決める。プラネタリウムを、北の黄極点が天頂になるように立てた場合に、上から下までどのような配列で惑星棚が構成されているかを示したのが、図 5.6.17 である。図 5.6.17 の上半分が北側の惑星投映機で、下半分が南側の惑星投映機であり、「M」とあるのは惑星の駆動用のモーターである。

この例に従えば、五藤光学が最初に開発した M-1 型プラネタリウムの惑星投映機の配列は、北側から、M、月、太陽、水星、つぎに南側で、金星、火星、木星、土星である。モーターが、北の惑星棚の上に 1 個あるだけであるから、北側の惑星棚の駆動軸が自在継手（ユニバーサル・ジョイント）によって連結され、恒星球の中を恒星投映筒を避けながら通し、南側の惑星棚まで機械的に接続されていたのである。

ただし、G シリーズの惑星棚には、南北両方にモーターがあるので、セルシン・モーターなどを使用して電氣的に接続していることが分かる。

さて、惑星棚の配列であるが、これまで決めてきた惑星棚の大きさを基に、図 5.6.17 を参考に決定する。先に述べたように、一つの惑星を投映するには、必ず

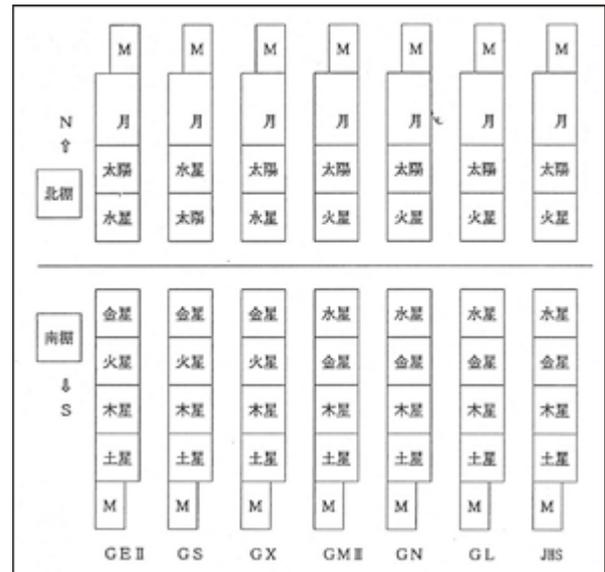


図 5.6.17 G シリーズの惑星棚の配列

惑星軌道板と地球軌道板が組みになって使われている。従って、図 5.6.17 の GE II の惑星棚の場合を例に説明すると、太陽・地球、地球・水星、金星・地球、地球・火星、木星・地球、地球・土星のように配置して、太陽と水星の地球軌道板を共用にし、金星と火星の地球軌道板を共用にし、木星と土星の地球軌道板を共用にすれば、6 個必要だった地球軌道板を半分の 3 個で済ませることができるのである。

また、月投映機は、駆動系の距離が長くなったり、ギヤの連結点数が多くなると、軸のたわみやギヤのガタによってジャーキーモーション（振動しながら小刻みにガクガク動く状態）が起り易くなる。従って、月はできるだけモーターに近いところに設定する。

さらに、惑星投映筒がプラネタリウム（ドーム）の中心から離れば離れるほど、投映筒の偏角が大きくなり台板の間隔が広がるので、軌道傾斜角の大きい水星や金星の投映棚は、なるべくプラネタリウムの中心に近い方が良くそのように設定する。

つぎに、各惑星の軌道半径と離心量を決める。

ここで、 $r$  を各惑星の軌道半径 (mm)、 $k$  を惑星棚の基準半径 (mm)、 $a$  を各惑星の軌道長半径 (AU=天文単位)、 $e$  を各惑星の離心率とすれば、

- ①内惑星の 軌道半径  $r = k \times a$
- ②内惑星の地球と外惑星の軌道半径  $r = k$
- ③外惑星の地球の 軌道半径  $r = k \div a$
- ④太陽の 軌道半径  $r = k$
- ⑤各惑星の 離心量  $ea = r \times e$

そこで、例題として、各惑星及びそれぞれの地球の軌道半径と離心量の表を、 $k$  を 90mm として作成する。

表 5.4 の  $r$  は軌道半径、 $ea$  は離心量、 $2ea$  は離心量

表 5.3 惑星軌道要素、周期 (1988 年版『天文年鑑』誠文堂新光社 発行)<sup>(5)</sup>

惑星	軌道半長径	公転周期	会合周期	軌道離心率	軌道傾角	近日点黄経	昇交点黄経	平均黄経
	天文単位	年	日					
水星	0.387098	0.240852	115.88	0.20563	7°.00477	77.26932	48.18854	313.31605
金星	0.723330	0.615210	583.94	0.00678	3.39454	131.39540	76.57178	358.87316
地球	1.000001	1.000039	—	0.01671	—	102.73282	—	99.88073
火星	1.523679	1.880888	779.97	0.09339	1.84980	335.83928	49.46543	218.16767
木星	5.202603	11.86214	398.90	0.04848	1.30393	14.13778	100.34192	29.95359
土星	9.554910	29.45923	378.11	0.05555	2.48933	92.82112	113.56026	263.23941
天王星	19.218446	84.02318	369.67	0.04630	0.77310	172.82678	73.94342	262.46544
海王星	30.110387	164.7719	367.50	0.00899	1.77107	47.95252	131.65178	277.95966
冥王星	39.539967	247.8245	366.75	0.24900	17.14576	223.97481	110.15613	220.86295

上記の数値は1988年1月1.0日(力学時)の黄道および平均春分点に基づく。

表 5.4 各惑星及び地球の軌道半径と離心量

惑星	r	e a	2 e a
水星	34.8389	7.164	14.328
水星地球	90	1.505	3.010
金星	65.099	0.441	0.883
金星地球	90	1.505	3.010
火星	90	8.405	16.810
火星地球	59.0671	0.988	1.975
木星	90	4.346	8.692
木星地球	17.2983	0.289	0.578
土星	90	5.044	10.087
土星地球	9.4352	0.158	0.316
太陽	90	1.505	3.010

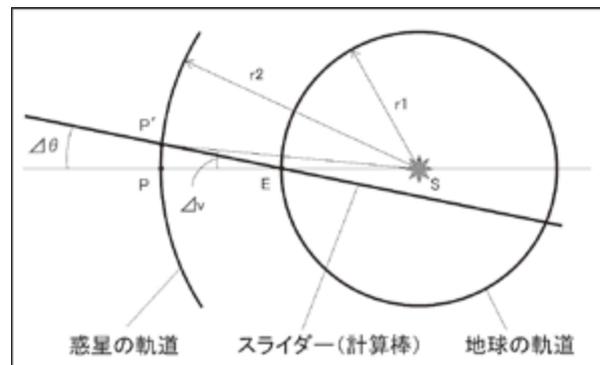


図 5.6.18 スライダの角度誤差

$\Delta \theta = \tan^{-1} \{ (r2 \sin \Delta v) / (r2 \cos \Delta v - r1) \}$   
で求めることができる。

従って、ギヤの段数は少ないほどよく、駆動ギヤと惑星ギヤの軸間距離、ギヤの歯数、モジュール、回転方向など、全ての要素を考慮した上で決定する。

水星を例にして、ギヤ比の計算方法を述べる。

①地球1回転に対する水星の回転数を計算する。

$$\text{水星の回転数} = \text{地球の公転周期} / \text{水星の公転周期} \\ = 1.000039 / 0.240852 = 4.15208925$$

②4.15208に100000をかけて小数点を外して素因数分解する。

$$415208 = 2 \times 2 \times 2 \times 17 \times 43 \times 71$$

③ギヤ比を組めそうなので、まず回転誤差Δvを見る。

$$\Delta v = 4.15208 - 4.15208925 = -0.00000925 \\ = 0.00000925 \times 360^\circ \times 100 \text{年} = 0.333^\circ$$

従って、内合のときのスライダの100年間の角度誤差Δθは、

$$\Delta \theta = \tan^{-1} \{ 0.387098 \sin 0.333 \\ / (1 - 0.387098 \cos 0.333) \} = 0.21031250^\circ$$

となり、100年間で0.21°であるから良しとする。

④つぎに、駆動軸の回転を6回転、ギヤの段数を3段としてギヤ比を求める。

を2倍した値である。従って、この表を用いて惑星機構の設計を始めることが可能である。

つぎに、ギヤ比の計算をする。それぞれの惑星と地球の軌道板を、駆動軸1本を回転するだけで、実際の公転周期に合わせて回転させることができるように、惑星投影機のギヤ比の計算方法を説明する。

公転周期は、割り切れない数であるから、ギヤ列で実現しようとした場合、累積誤差をどの程度認めるかということが設計の仕様となる。また、回転方向もおのずと決まってしまうので、ギヤ比の段数も地球と惑星の相対的な関係に合わせる必要がある。

ポイントは、ギヤ比の誤差は、1年分回転させて何度狂うかを算出し、それに何年分回転するかによってその年数を掛け、設計の仕様を決めるのである。

図 5.6.18 において、S が太陽、E が地球、P が真の惑星の位置、P' が誤差を生じた惑星の位置、r1 は地球の軌道半径、r2 は惑星の軌道半径、Δv をギヤ比による角度誤差、Δθ をスライダ (計算棒) の角度誤差とする。このとき、問題となるのは内合または衝の場合であり、そのときのスライダの角度誤差Δθは、

$$\begin{aligned}
\text{ギヤ比} &= 4.15208 \\
&= (8/10) \times (17/10) \times (43/10) \times (71/10) \\
&\quad \times (1/10) \times (6/6) \\
&= (136/100) \times (43/100) \times (71/60) \times 6 \\
&= \{(136/2)/(100/2)\} \times \{(43 \times 4)/(100 \times 4)\} \\
&\quad \times \{(71 \times 2)/(60 \times 2)\} \times 6 \\
&= (68/50) \times (172/400) \times (142/120) \times 6 \\
&= (68/100) \times (172/200) \times (142/120) \times 6
\end{aligned}$$

他の惑星も同様の手順でギヤ比を算出する。

これで、一通り惑星投映機を設計することができる。しかし、惑星の離心率を2倍にすると離心円運動では楕円運動を再現することができるといったが、これは図5.6.10中の真近点角 $\nu$ のことで、動径 $r$ については近似できない。動径 $r$ を近似するには、離心率 $e$ をそのままにした離心円運動でよいが、今度は真近点角 $\nu$ が近似できなくなる。そこで、単一のクランク機構ではなく、等速動力板を追加した二重円板機構や、さらにカウンター板を追加した三重円板機構などが考えられてきた。プラネタリアムの惑星投映機（惑星棚）改良の歴史は、正にケプラー運動に如何にして近似させるかという戦いであったといえる。

参考までに、水星と金星のギヤ比と誤差を記しておく。

$$\begin{aligned}
\text{①水星} & (68/100) \times (172/200) \times (142/120) \times 6 \\
& = 4.15208 \\
\text{回転数} & = 1.000039/0.240852 = 4.15208925 \\
\text{誤差} & = -0.00000925
\end{aligned}$$

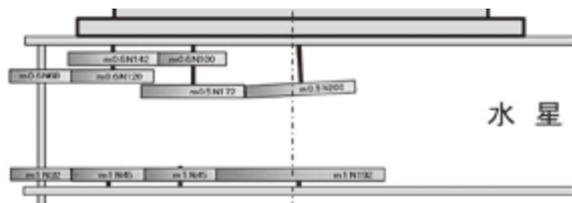


図 5.6.19 水星

$$\begin{aligned}
\text{②金星} & (52/64) \times (115/288) \times (81/97) \times 6 \\
& = 1.625523 \\
\text{回転数} & = 1.000039/0.615210 = 1.6255246 \\
\text{誤差} & = -0.0000016
\end{aligned}$$

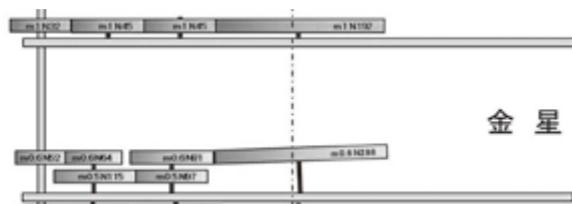


図 5.6.20 金星

最後に、月投映筒について紹介しておくことにする。月には理論では説明できない、観測的に見出された周期的な誤差があり、月投映機はそれらを再現するために、非常に複雑なギヤ列をなしていることは、前に述べた通りである。その他、月投映筒には、月の満ち欠け（朔望）を再現する装置があるので、ここでは月投映筒の朔望機構について解説する。

図5.6.23は、M-1型プラネタリアムの月投映筒で、上が側面図で下が平面図である。平面図で、Lは光源（12v35wの白熱電球）で、Cは集光レンズ（コンデンサーレンズ）、Hはハーフミラー（光の半分を通過し半分を反射する）、Mは原板ミラー（直径5mmの円形で表面に月面の模様が描かれている）で、Bは月の朔望を再現するお椀状のシャッター、Fはピント調整用の負レンズ、Oは投映レンズである。ただし、Fによるピントは、工場出荷時に調整されているが、ユーザーが調整する時は、Oの投映レンズを前後させて行うようになっている。

さて、光源Lから出た光は、集光レンズCで集められ、ハーフミラーHに達する。その時、光の半分はそのまま真直ぐハーフミラーを通り抜けるが、半分は右に反射し、原板ミラーMに当たって反射し、再びハーフミラーHを通り、負レンズFと投映レンズOを通過してドームスクリーンに月の像が投映される仕組みになっている。

ところで、原板ミラーの周りには、お椀のような

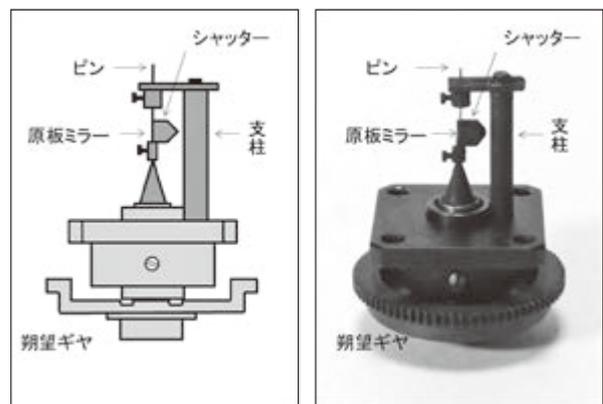


図 5.6.21 月の朔望機構



図 5.6.22

左から上弦の月、満月、下弦の月

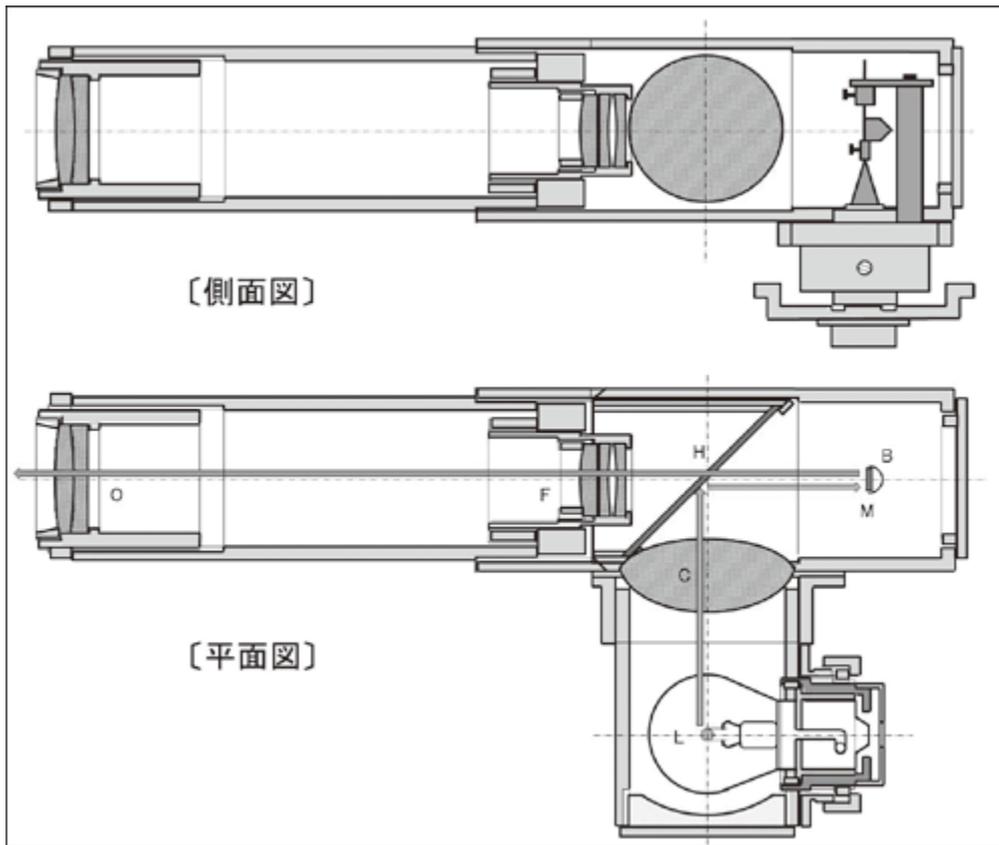


図 5.6.23 M-1 型の月投映機

シャッターが回転して、時に半月の上弦の形に、時に十五夜の満月の形に、時に半月の下弦の形に遮光されている（図 5.6.21、5.6.22）。

原板ミラーは直径が5mmで、お椀状のシャッターの穴の直径は5mmよりもわずかに大きい程度である。従って、下の方から出ている回転するシャッターの穴に、上からピンに接着された原板ミラーを下し、シャッターを回転させても原板ミラーに当たらないように、上下左右を調整しなければならない難しい作業である。

また、原板ミラーの表面の模様は、黒ラッカーをうすめた塗料で、面相筆を使って描いていたもので、これは網点を使った写真処理で製作できるまでつづいた。

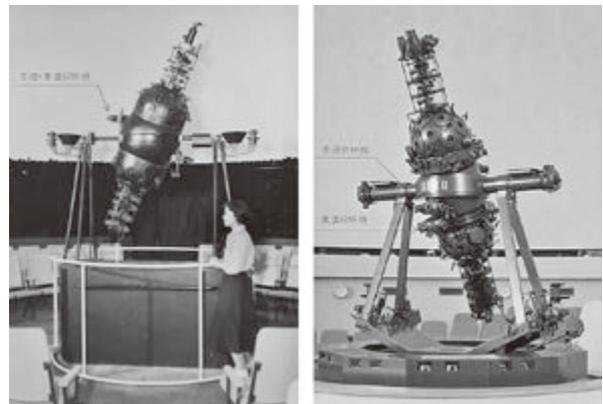


図 5.7.1 M-1 型と GX-10 型の座標系投映機

## 5.7 座標系・標板投映機

プラネタリウムには、恒星や惑星などの天体だけでなく、天文現象の理解を容易にするために、天の赤道や黄道、子午線といった座標系の投映機、天頂や天の北極、黄極、東西南北の方位などを示す各種の標板投映機も標準で付属している。

1959年に最初に作られた M-1 型プラネタリウムの座標系投映機は、赤道と黄道が一緒に入った南北 1 組の

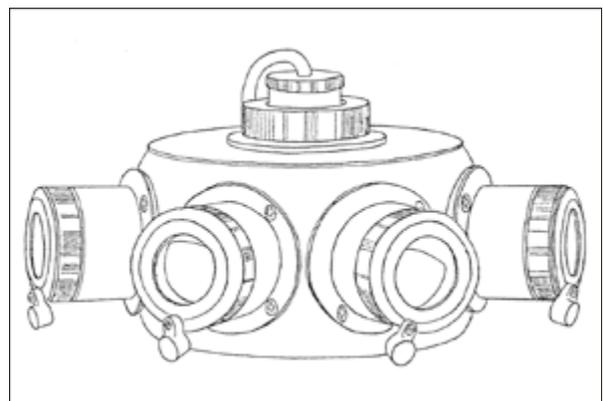


図 5.7.2 GX-10 型の赤道投映機

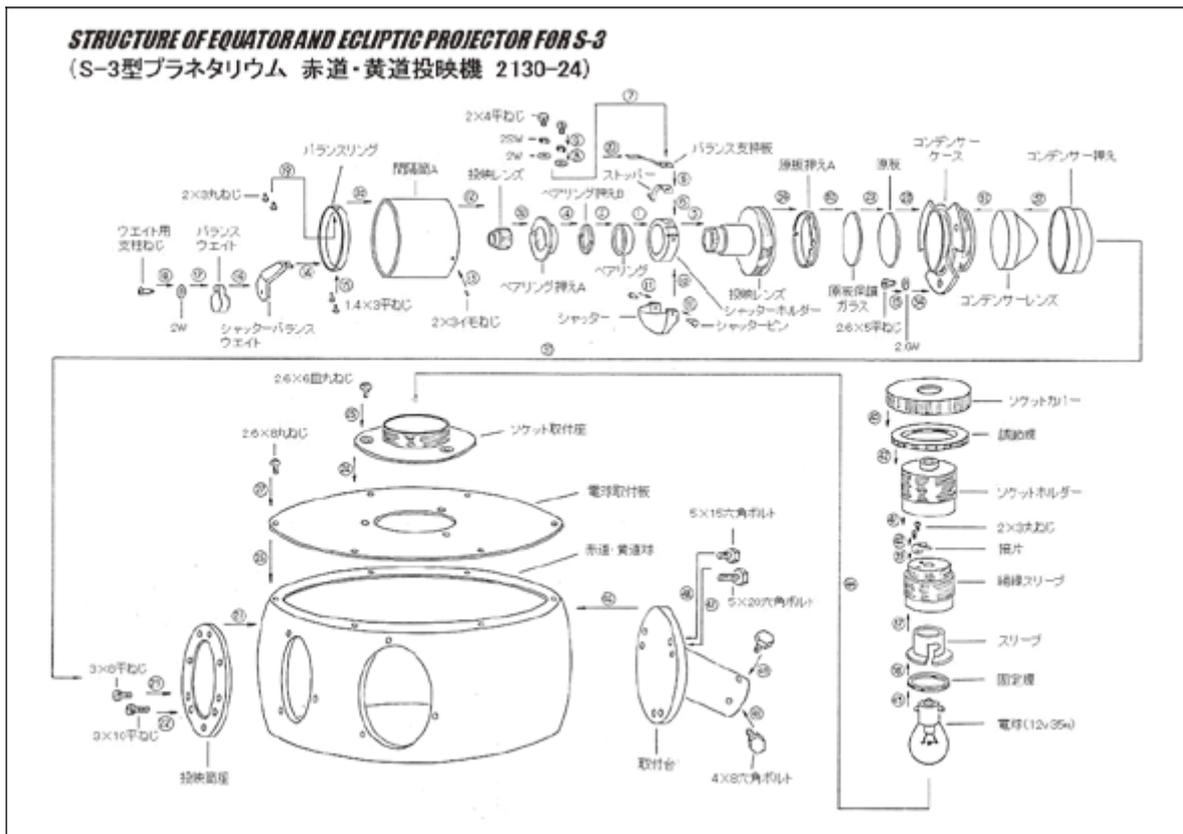


図 5.7.3 赤道投射機の部品構成 (手描きの組立マニュアルより)

の投射機であった。しかし、投映画角的にきびしかったので、1972年に開発されたGシリーズのGX-10型からは、赤道と黄道の投映機が分離され、2組の投映機になっている。ただし、投映方式は同じである。

そこで、座標系投映機の構造を、S-3型プラネタリウムの手描きの組立マニュアルを参考に説明する。

投映機の本体は、図 5.7.3 の下段左の太鼓のようなアルミニウムの鋳物のケースに、4 個の投映筒がついている。図 5.7.3 の下段右下の、12V35W の電球から出た光は、上段右側のコンデンサーレンズで集められ、その左側の原板を通り、中央やや左の投映レンズによってドーム上に赤道の目盛が投映される。勿論、上段中央付近の重力式シャッターによって水平線以下の像がカットされ、地平線以下に映らなくなっている。

五藤光学は、中型の M-1 型プラネタリウムを開発した後、1963 年までに、セントルイス向けの L-1 型、岡山県立児童会館向けの M-2 型、小樽市青少年科学技術館向けの S-3 型をつぎつぎに開発し、大型、中型、小型プラネタリウムのラインナップを完成させた。しかし、その頃はパソコンはおろか電卓すらない時代であり、恒星のように計算する数の多い原板の製作には、光学工業組合の大型コンピュータを借りて偏心計算をしていたが、座標系の原板のようなものはそれも出来なかった。そこで、社内の実験用 10m ドー

ムのスクリーン面に、赤道と黄道の線を黒のペイントで描き、座標系の投映レンズと同じレンズをつけた改造カメラで、投映機と同じ位置から撮影する。それを引伸ばし機にかけて 10 倍に拡大して烏口で赤道の線を描き、1/10 に縮小撮影して種板を作る。それを、ガラスに目盛を切る下請けに送って原板を作っていた。

その後、1972 年に開発した G シリーズからは、偏心計算をしたデータを使って、当時、ドラフターなどの製図器機を作っていた武藤工業（現：MUTOH ホールディングス株式会社）のマイクロロッターで、ストリップコートのカットしてアートワークを作り、それを縮小撮影して種板を作るようになった。

つぎに、投映レンズであるが、五藤光学の創業者の五藤齊三が日本光学（現：ニコン）にいた時の同僚の富岡正重が、日本光学を退職して作ったレンズ屋が、戦後写真レンズの大量生産に成功して繁盛していた。そこをお願いして作ってもらった 3 枚玉のトリプレットで通称「トミノン 25mm」というレンズである。富岡の死後、紆余曲折を経てヤシカ光学の傘下に入ったようだが、その後は自社製の 26mm を使っている。

ここで、GX 型プラネタリウムの座標系原板を例に、その製作方法等について述べてみる。

各座標系の投映機の取付け位置は、図 5.7.4 のようになっている。

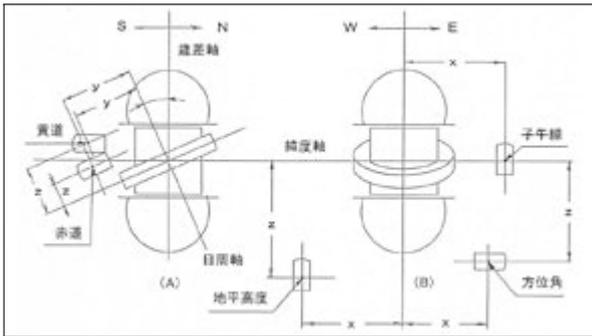


図 5.7.4 GX 型の各座標系投映機の取付け位置

今、GX 型を例にそれぞれの値を示すと表 5.5 のようになる。

表 5.5 GX 型の各座標系投映機の位置

投映機	x	y	z
赤道	0	± 280	± 170
黄道	0	± 297	± 280
子午線	- 810	0	0
方位角	± 854	0	- 970
地平高度	+ 1050	0	- 1060

また、各投映機には、投映筒が図 5.7.5 のような間隔でとりつけられている。

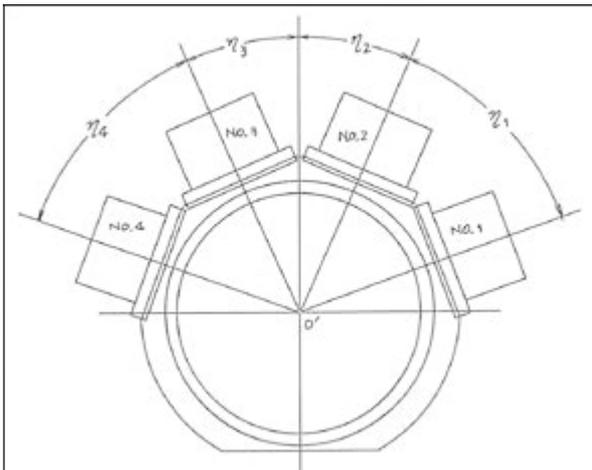


図 5.7.5 座標系投映機の投映筒の間隔

また、各投映筒は図 5.7.6 のような傾きをもっている。

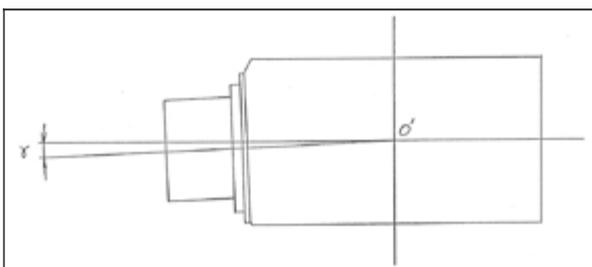


図 5.7.6 座標系投映機の投映筒の傾き

今述べたように、各座標系の投映機はドームの中心に対して  $(x, y, z)$  の位置にあり、各投映機に取り付けられた投映筒は、 $\eta$  の間隔で  $\gamma$  の傾きをもっている。従って、各投映筒の方向を決定する必要がある。それには、投映機の位置を、子午線上でドームの中心より上の方にあり、しかも、投映機が水平で、投映機の中央が南の方に向くように回転した場合の  $(x, y, z)$  座標で表した方が便利である。この時の各投映機の位置は下記ようになる。

図 5.7.6 から明らかなように、赤道については日周軸を垂直にしたものと考えれば、

$$\text{赤道の場合} \quad x = 0, y = y, z = z$$

黄道については、傾きの変換をして、

$$\begin{aligned} \text{黄道の場合} \quad d &= (y^2 + z^2)^{1/2} \\ \theta &= \tan^{-1}(z/y) - \varepsilon \end{aligned}$$

$$\text{とおき、} \quad x = 0, y = d \cos \theta, z = d \sin \theta$$

となる。以下同様にして、

$$\text{子午線の場合} \quad x = 0, y = 0, z = x$$

$$\text{方位角の場合} \quad x = 0, y = x, z = z$$

$$\text{地平高度の場合} \quad x = 0, y = z, z = x$$

とすればよい。

こうすることによって、各投映機の投映像は、ドーム内の真西を基点とした地平線上にあると考えることができるので、各投映機に対して同一の演算方法が適用できるのである。

ところで、座標系の原板用の原画（アートワーク）は、先にも述べたように、ストリップコートにマイクロプロッターを用いて、10 倍の大きさに、1/100mm の精度で作られる。しかし、これは手作業で行われるため、非常に時間がかかる。そこで、黄道を除くアートワークは、各投映機の投映筒に対して 1 枚ずつ作るのではなく、南北あるいは東西いずれか一方の投映機に対してだけ作り、それと対称の位置にある投映筒に対応する目盛もあらかじめ入れておき、1/10 に縮小する時に、片方の目盛を消して撮影するのである。こうすることによって手間を省くことができる。

赤道の場合は、ラインを実線で描き、目盛は 10 分間隔で 30 分ごとに長い線、1 時間ごとに日付を表す数字を入れる。

黄道の場合は、目盛をドットで描き、目盛は 1 日間隔で 5 日ごとに大きな丸、10 日ごとに日付を表す数字を入れる。また、各月の 15 日の上には、その月を表す文字を入れる。ただし、31 日は例外で大きな丸で表す（図 5.7.7~5.7.12）。

子午線、方位角、地平高度の各投映機の構成は、赤道・黄道投映機とほぼ同じだが、これらの投映機は、地

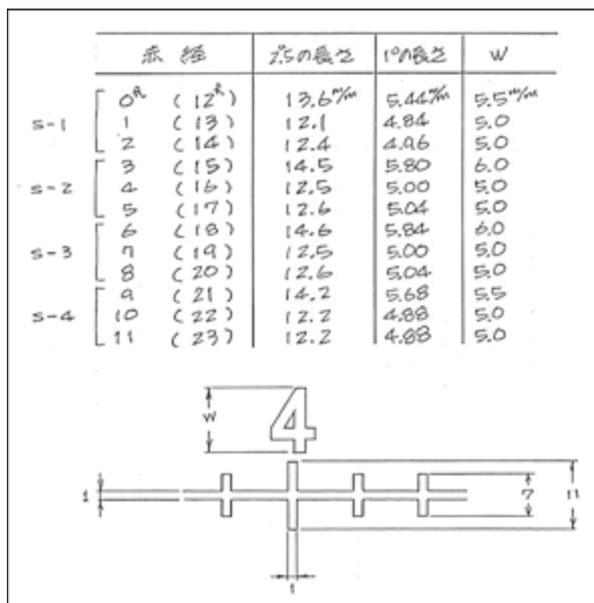


図 5.7.7 GX-11 型の赤道アートのメモ①

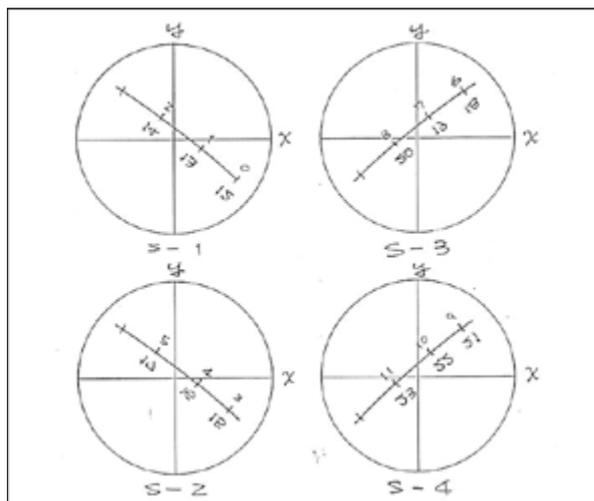


図 5.7.8 GX-11 型の赤道アートのメモ②

平線より下に映ることがないので、シャッター機構はない。

子午線投映機 (図 5.7.14) は、緯度軸の東側の先端に取り付けられており、真北の地平線から天頂を通り南の地平線まで 180° に亘って投映される。地平線が 0° で天頂が 90° である。また、地平高度投映機は、架台に取り付けられており、本体の周りを自由に回転するようになっている。こちらは、地平線の 0° から天頂の 90° までで、子午線の半分のようなものである。

ところで、座標系投映機の投映レンズは画角が広いので、取差により画角の中心よりも周辺の方が像が伸びる傾向にある。赤道の目盛の場合、時間の 10 分 (角度の 2.5°) 間隔で目盛が打たれているが、画角の中心付近では 10 分が 5mm 程度であるが、周辺では 5.5mm から 6mm 程になる。従って、赤道の時間を示す数字も全て同じ大きさで描くと、投映されたときに

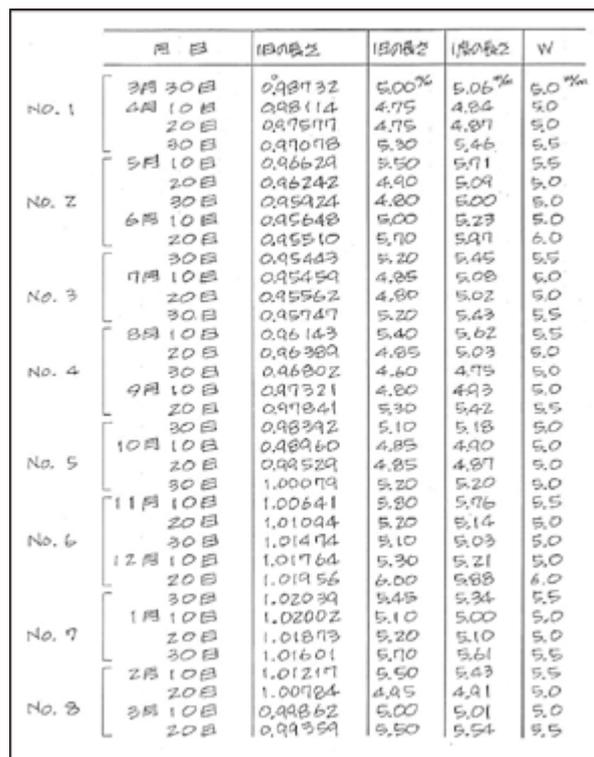


図 5.7.9 GX-11 型の黄道アートのメモ①

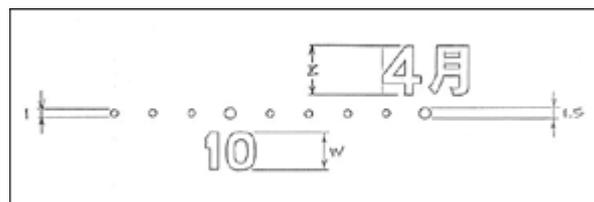


図 5.7.10 GX-11 型の黄道の文字の大きさ

小さな数字になってしまう。そこで、数字が赤道の目盛のどこにあるかによって、数字の大きさを微妙に変えているのである。このことは、黄道、子午線、方位角、地平高度についても同様である。

### < 各種標板投映機 >

赤道投映機は、日周軸の北側と南側の点対称の位置に取り付けられているが、その横に隠れるように取り付けられている小さな投映機が「極点投映機」(図 5.7.16) である。これは、いうまでもなく、地軸の延長が天球と交わる点で、北の方の交点が「天の北極」、南の方の交点が「天の南極」である。普通、単に「極点」というが、これは赤道の極で、赤緯が 90° である。投映機の構造は、電球の後ろ側に反射鏡があり、前の方には集光レンズ、その前に矢印の原板、そしてアクロマートの投映レンズになっていて、極点を示す矢印が投映されるようになっている。

架台の東側の端に上向きに付いているのが、「天頂」

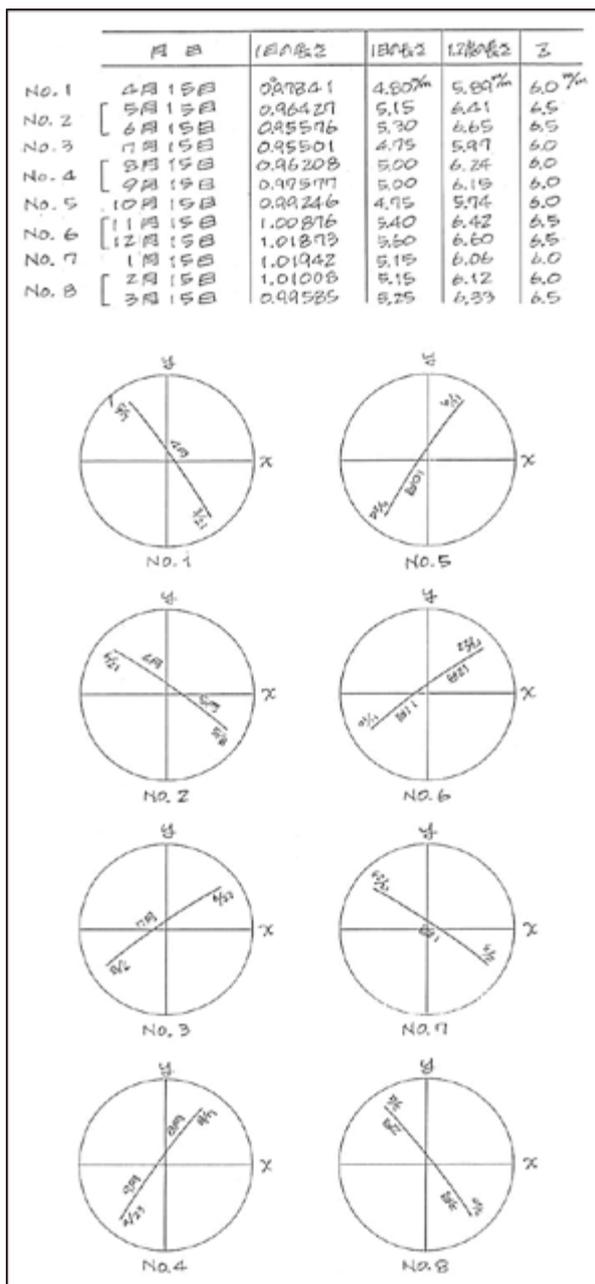


図 5.7.11 GX-11 型の黄道アークワークのメモ②

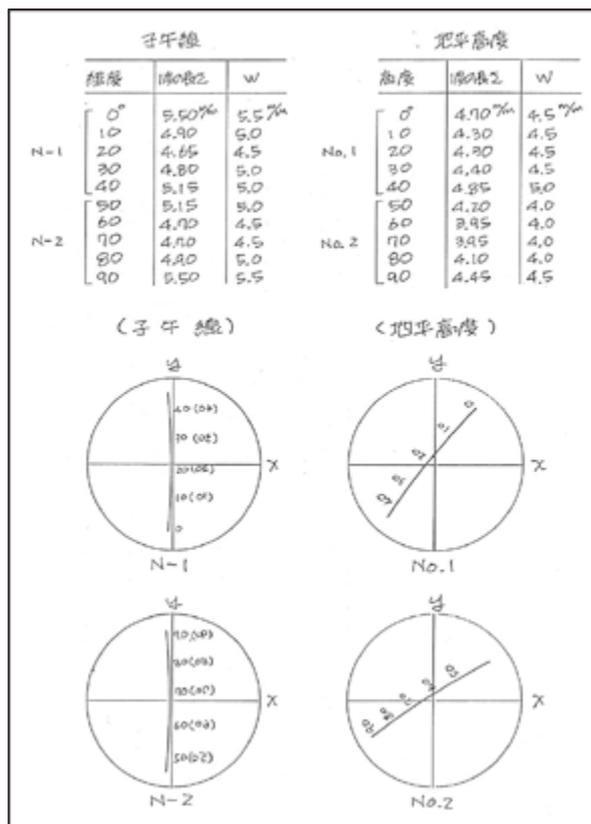


図 5.7.13 GX-11 型の子午線と地平高度のメモ

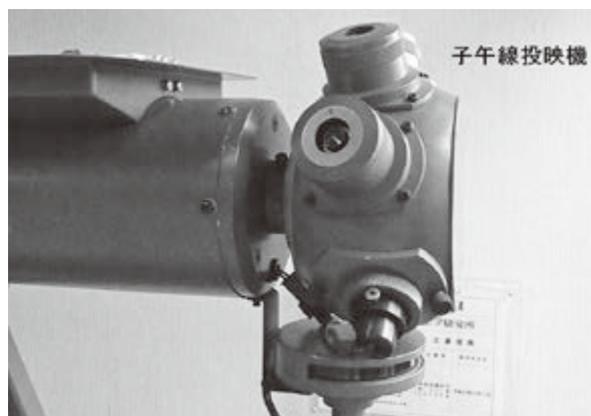


図 5.7.14 G1014si 型の子午線投映機

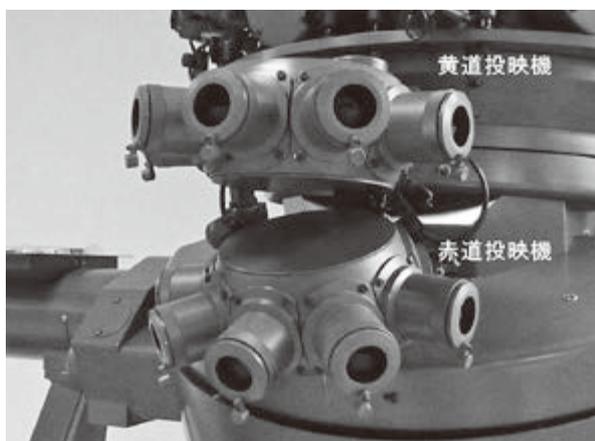


図 5.7.12 G1014si 型の赤道・黄道投映機

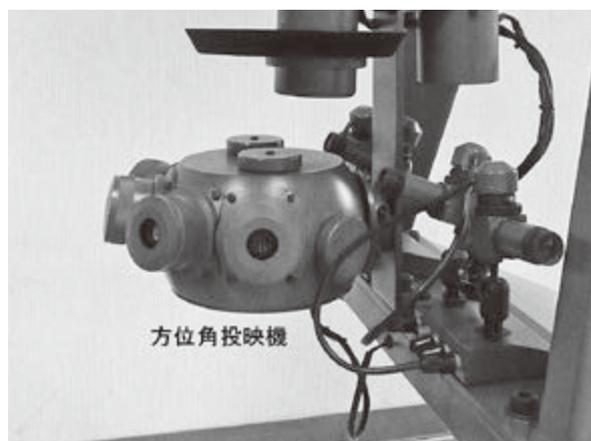


図 5.7.15 G1014si 型の方位角投映機

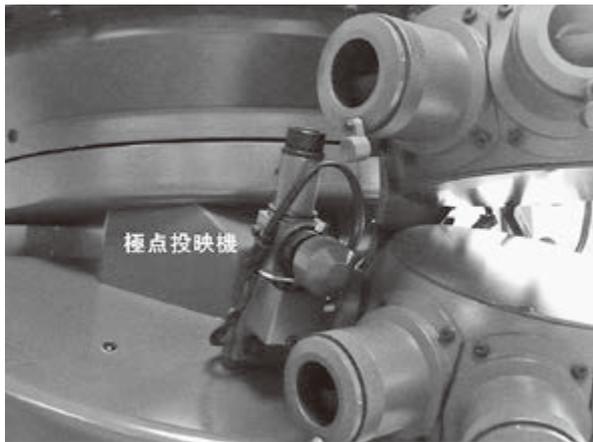


図 5.7.16 G1014si 型の極点投映機



図 5.7.17 G1014si 型の天頂投映機

投映機（図 5.7.17）である。糸に錘をつけて下げたとき、糸の方向を「鉛直線」というが、この線を上方に延長して天球と交わった点が「天頂」である。投映機の構造は、電球が筒の後ろの方から差し込まれているので、極点のような反射鏡はない。その他は極点投映機と同じ構成だが、原板の絵柄は丸に十の字の島津家の家紋のような像が投映される。

それから、恒星の周囲には、星座絵投映機や星雲星団投映機、スターサークル投映機などが所狭しと並

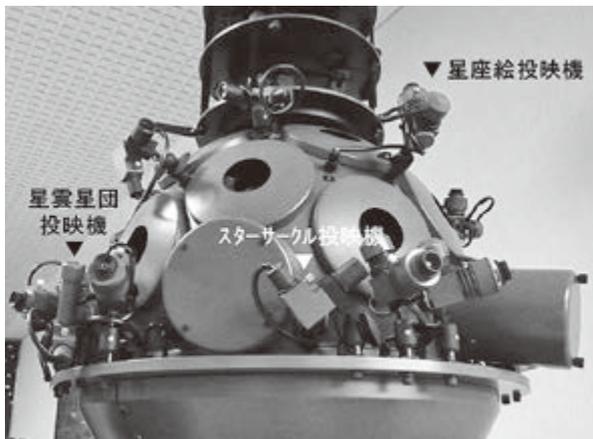


図 5.7.18 星座絵・星雲星団、スターサークル投映機

んでいる。投映機の構造は殆ど同じだが、星座絵投映機は広角の投映レンズがついている（図 5.7.18）。

## 5.8 自然現象の投映機

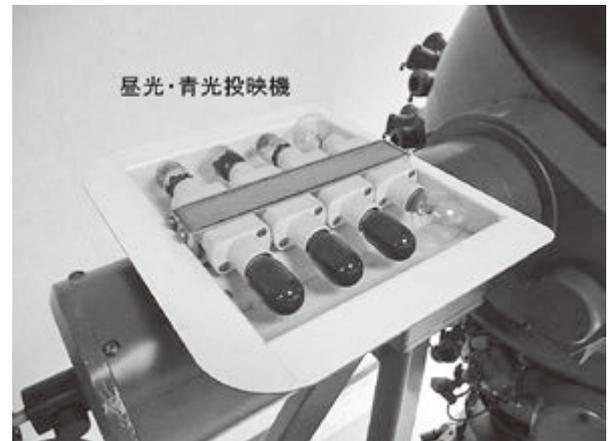


図 5.8.1 G1014si 型の昼光・青光投映機

プラネタリウムには、座標系や標板の投映機の他に、自然の雰囲気を出すための投映機もある。G1014si 型では、緯度軸の東西のスリッピングのカバーの上に、昼光・青光投映機が取付けられている（図 5.8.1）。

昼光というのは、文字通り昼の明るさを表す明かりであるが、100V 40W の電球が片方に 2 個、東西で 4 個で、星の明るさに目が慣れるまでの時間が短くて済むように、実際の昼間の明るさよりも格段に暗くしてある。また、青光というのは、月明かりの雰囲気を出すための灯りで、青色に着色された 110V 15W の電球が片方に 6 個、東西で 12 個使用している。

それから日の出前の東の空の真赤な朝焼けや、日が沈んだ後の西空の夕焼けを再現する「朝焼・夕焼投映機」（図 5.8.2）が、架台の東西に取り付けられている。半円形の窓の開いたアルミの筒の内側に、赤色の円筒



図 5.8.2 朝焼・夕焼、薄明・薄暮投映機

形のガラスが入っており、その中心に電球が入っているという行灯のような構造のものである。

また、その上に重なっているのが、「薄明・薄暮投映機」である。これは、朝焼けの前に東の空が白んでくる様子や、夕焼けが次第に色褪せて行き、西空が白んで見える様子を再現するための投映機で、朝焼・夕焼投映機のような色ガラスの代わりに、無色の摺りガラスが入っている。



図 5.8.3 G1014si 型の水平投映機

また、最近では田舎でも街明かりのために地平線付近がポーッと明るいのが普通で、その雰囲気醸し出すのがわずか 24V 15W の電球を使用した水平投映機（図 5.8.3）である。この明かりがあると有限のドームがぐっと奥行のある広大な野原のように感じられる。



図 5.8.4 座標系・星座絵の投映風景

## 5.9 補助投映機

1957 年～1958 年にかけての国際地球観測年（IGY = International Geophysical Year）に、人工衛星を打ち上げるという計画が、早くからアメリカとソビエトから発表され、どちらが宇宙に一番乗りをするか茶の間で注目的になっていた。

1957 年 8 月 26 日、ソビエトが人工衛星打ち上げ用のロケットを完成したかのように、大陸間弾道弾の実験に成功したというニュースが報じられた後、ついに 10 月 4 日、ソビエトによって人類初の人工衛星第 1 号が打ち上げられた。こうして、米ソの宇宙開発競争の幕が切って落とされたのである。

このようなことが、日本における国産プラネタリウムの開発に拍車をかける一因になったのではないかと考えられる。ちょうどその頃、発行されたヘルムート・ウエルナー（Helmut Werner）著の「FROM THE ARATUS GLOBE TO THE ZEISS PLANETARIUM（アラトスの天球儀からツァイスプラネタリウムまで）」という本には、プラネタリウム本体だけではなく、本体に搭載できなかった補助投映機についても書かれている。

彗星投映機、流星投映機、黄道光投映機、オーロラ投映機、星座絵投映機、日・月食投映機などが紹介されているが、特に、彗星投映機や流星投映機などは、その構造が詳しく説明されている。従って、国産プラネタリウムメーカーには、とても参考になったのではないと思われる。



図 5.9.1 M-1、M-2 型の補助投映機

図 5.9.1 は、五藤光学の中型プラネタリウム M-1 型と M-2 型の補助投映機を紹介したところである。左ページの上から、宇宙ロケット及び人工衛星投映機、日・月食投映機、いなずま投映機、回転式投映機。右ページも上から、彗星投映機、虹投映機、オーロラ投映機、下段は左が太陽系投映機、右が流星投映機である。

回転式星座絵投映機や流星群投映機などは、ツァイスの補助投映機にそっくりである。

図 5.9.2 は、千代田光学製ノブオカ式プラネタリウム解説書にある補助投映機である。左側のページの上から汎用投映機、絵画投映機（星座の線画投映機）、中央のページの上から日食月食投映機、太陽系投映



図 5.9.2 千代田光学製ノボカ式の補助投映機

機、人工衛星投映機（アメリカ式とソ連式）、右側のページの上から恒星固有運動投映機（北斗七星と南十字）、オーロラ投映機である。

補助投映機は、本体にはできない運動や映像を投映するのであるからかなり大型のものである。従って、毎回使用する星座絵投映機や流星投映機などは、コンソール卓の上やサイドテーブルの上に置かれているが、その他は、通常、事務室の棚や倉庫に保管されており、必要な時だけコンソール卓のそばに置いて使われるのである。

ところで、このような補助投映機も、その後、技術の向上とともに小型軽量化が図られる。ここで、1980年代に作られた五藤光学のGS型、GX型、GM-II型、GN型、GL型用の補助投映機を紹介する。

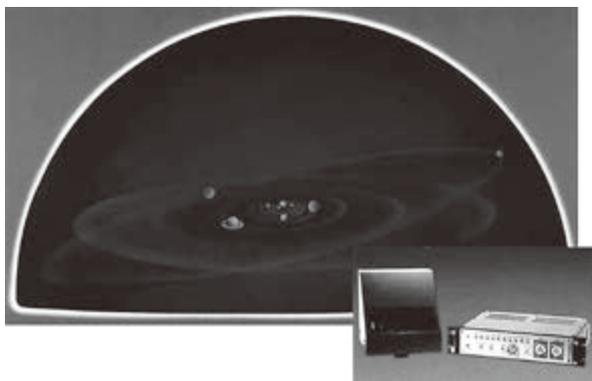


図 5.9.3 太陽系投映機

当時の太陽系投映機（図 5.9.3）の説明文には、「太陽を中心とした9つの惑星、太陽・水星・金星・地球・火星・木星・土星・天王星・海王星・冥王星および地球をめぐる月の公転を、太陽系の外から見た姿で投映する。周期は実際の比率を用いているので地球と月や惑星の関係を平易に理解することができる。」とある。

日・月食投映機は、皆既食と金環食、部分食の日食と、皆既食と部分食の月食を投映ことができ、皆既日食のときはコロナも投映される（図 5.9.4）。

日食や月食の仕組みは、まず、太陽を投映する投映筒があり、太陽の原板のすぐ近くに、太陽よりも少し

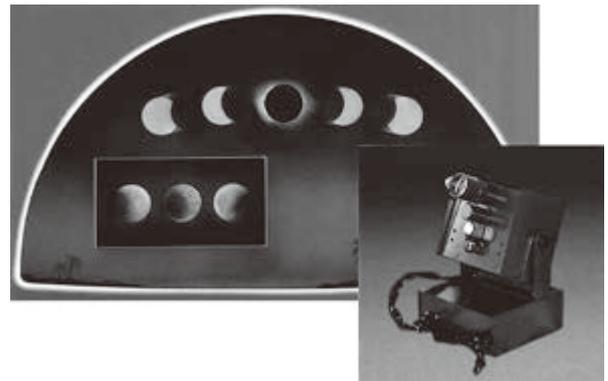


図 5.9.4 日・月食投映機

大き目の直径の丸い金属の遮光板（皆既用）と、太陽よりも少し小さ目の直径の丸い金属の遮光板（金環用）、それから太陽の約3倍ぐらいの直径の丸い茶褐色のフィルター（月食用）の貼られたガラスの円板がモーターによって回転するようになっている。そして、このガラスの円板は、モーターとともに上下に動かすことができるようになっていて、部分食が再現できるようになっている。それから、コロナの画像を投映する投映筒があり、太陽が皆既になった瞬間にフェードインすることによって、皆既の雰囲気を最大限に盛り上げる事が出来るようになっている。

以上の操作は、手動でも演出プログラムからオートでも可能なので、この日・月食投映機は、コンソール卓の上やプロジェクションギャラリーに置くこともできる。



図 5.9.5 回転式星座絵投映機

図 5.9.5 に示した回転式星座絵投映機は、12枚の星座絵を回転する枠にセットすることができ、その前のミラーで投映方向を調整する方式のものである。プラネタリウムを操作するコンソール卓は、ドームの真北から東または西に20°～30°寄ったところにある。その上に回転式星座絵投映機を置いて、日本の緯度の設定で、日周運動によって星座が子午線の上に来たときに、星座の絵の大きさが星座に合うようにできている。

従って、星座の説明のとき、静かに日周運動を回し

目的の星座が子午線の上に来たときに止めて、右手で星座絵投映機のミラーを操作し、左手でランプの調光ツマミを回して、スーッと星座絵が現われ星座にピタッと合ったときに、最大の明るさにするのである。すると、観客には、どこからともなく星座の絵が現われ、星座の星々にピタリと重なったときに、明るく輝いたように感じられるのである。正にラネタリム解説員の職人芸である。勿論、子午線から離れた星座に絵を映すには、本体に取り付けてある星座絵投映機を用いるとか、補助投映機の「汎用星座絵投映機」を用いる。

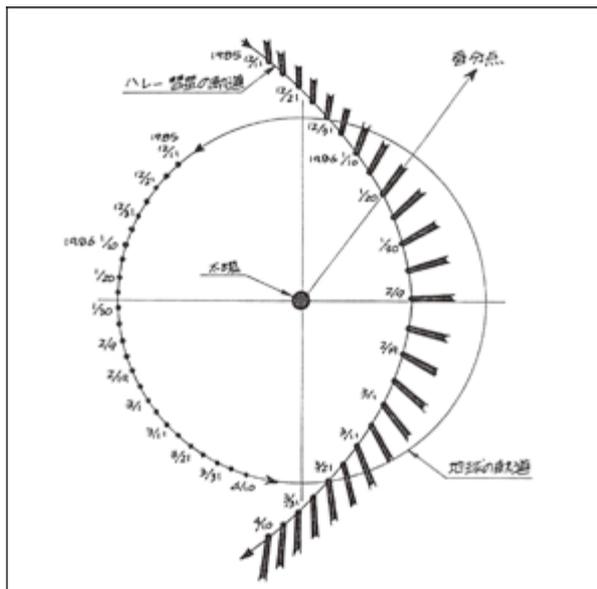


図 5.9.6 ハレー彗星の回帰

ところで、1980年代といえば、ハレー彗星が76年ぶりに太陽の近くに帰ってくるとあって、普段、星には興味のない人も楽しみにしていた時代である。そのハレー彗星も、1982年の10月16日にアメリカのジェット推進研究所の2人の天文学者によって検出された。彼らは、パロマー山天文台の口径200インチ反射望遠鏡の主焦点のところにCCDカメラを取り付け、1回8分間の撮影を5回行ってハレー彗星の移動を確認した。こうして、ハレー彗星が1986年の2月9日に、太陽の近くに帰ってくることが確実になった(図5.9.6)。恐らく、全国のプラネタリウム館では、ハレー彗星の投映番組の製作に忙しかったことと推測される。そんな時、図5.9.7のような補助投映機があれば便利であつたらうと思う。

この comet 投映機は、楕円軌道を持つ彗星の映像を投映し、尾も太陽に近づくにしたがって長くなり、遠ざかるにしたがって短くなる。太陽系投映機などと組み合わせて使用すると効果的である。

1977年に相次いで打ち上げられたボイジャー1号と

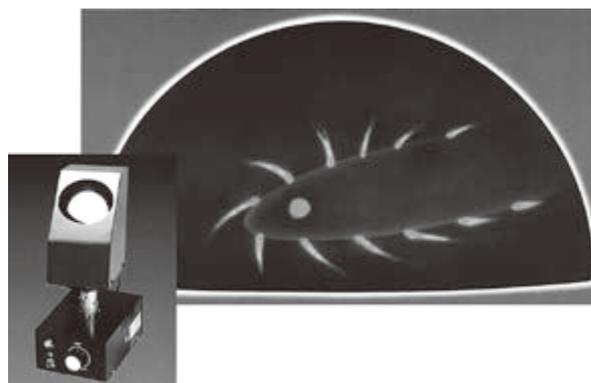


図 5.9.7 コメット投映機



図 5.9.8 宇宙船投映機

2号は、1979年の3月にボイジャー1号が、7月には2号が木星に近づき、そして、1980年11月には1号が土星に近づく。また、1981年4月にスペースシャトルが初飛行に成功し、1981年の8月には今度はボイジャー2号が土星に接近した。

1974年のマリナーや1975年のパイキングに始まったアメリカの惑星探査は1980年代に入ってもなお華々しい成果をあげていた。そんな時、活躍していたのが宇宙船投映機である。ロケットの打上げの様子と、宇宙船が回る様子を投映する(図5.9.8)。

しかし、次第にこのような単機能の投映機よりも、どちらかというスライドや原板を交換するだけで多目的に使用できるシンプルなスライド投映機が好ま

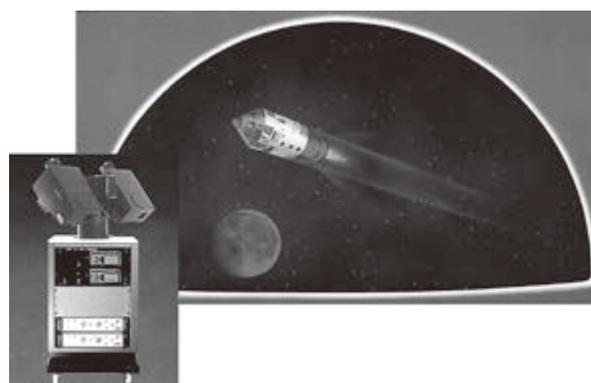


図 5.9.9 XY ムービングテーブル



図 5.9.10 ツインスライド投映機

れるようになって行く。その中で最も好まれたのが「XY ムービングテーブル」である（図 5.9.9）。

図 5.9.9 の XY ムービングテーブルには、通常 2 台のズームスライド投映機（ツインズームスライド投映機）を同架し、映像が遠ざかりながら、あるいは近づきながら移動する様子を表現するというものである。

図 5.9.10 の投映機は、一般の 35mm スライドフィルムが使用でき、フェードイン・フェードアウトを利用して、いろいろな応用のできる汎用性の高い投映機である。

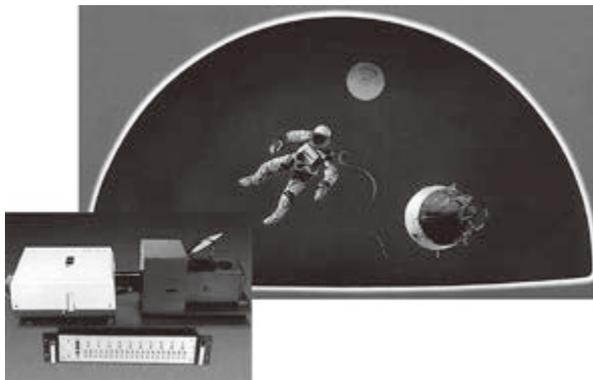


図 5.9.11 スライドスピン投映機

図 5.9.11 投映機も、35mm のスライドフィルムを使用して、映像を回転、移動できるシステムになっている。

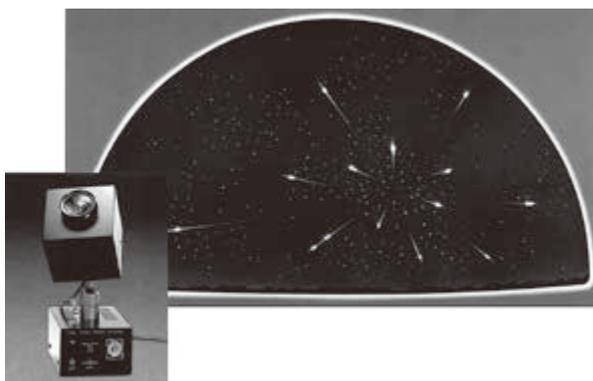


図 5.9.12 群流星投映機

図 5.9.12 は、輻射点から放射状に流星が飛ぶ様子を投映するもので、4 種類のパターンが内蔵されており、流星の速度調整が可能である。流星群の極大日でもない日の明け方、太陽が昇る少し前の東の空が白み始める頃に飛ばすと効果がある。

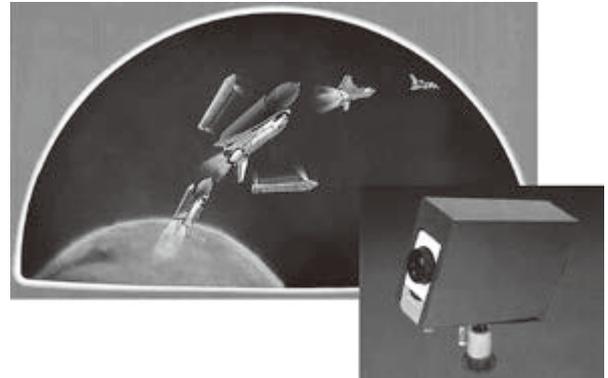


図 5.9.13 ユニプロジェクター 300 型

図 5.9.13 は、35mm のスライドフィルムを使用する上掲の投映機 30 台を連ね、逐次フェードイン・フェードアウト、カットイン・カットアウトしながら投映することができる投映機である。



図 5.9.14 プラネタリウムのリア映写室

図 5.9.14 は、アメリカのプラネタリウムである。

ご覧のように、コンソール後ろの壁面に、無数の投映機が設置されているのが窺える。

日本においても、1970 年ごろからプラネタリウムの演出にいろいろな補助投映機が使われるようになり、操作が煩雑になってきたので、操作のオート化が叫ばれるようになった。しかし、その頃の制御技術は信頼性が低く、プログラムの読み取り部などはいろいろな方式をテストし、信頼性を高めるのに多くの時間を費やした。ようやく、1980 年代になるとパーソナル・コンピュータが使われるようになり、信頼性も向上した。従って、数多くの補助投映機が作られることになった。これまで紹介したものの他に、下記のように

な投映機がある。

汎用型星座絵投映機

人工衛星投映機 (B)

惑星パノラマ投映機

散在流星投映機

群流星投映機

オーロラ投映機

ピンホールズーム投映機

いなずま投映機

虹投映機

月ハロー投映機

夕焼雲投映機

全天回転投映機

雲投映機

北斗七星固有運動投映機

大画角投映機

中画角投映機

小画角投映機

天文三角投映機

地球投映機

木星投映機

ズームスライド投映機

ツインズームスライド投映機

スライド投映機 (B)

月位相投映機

ユニプロジェクター150型

青空投映機

映像シフト装置

映像回転装置

映像二重回転装置

以上である。

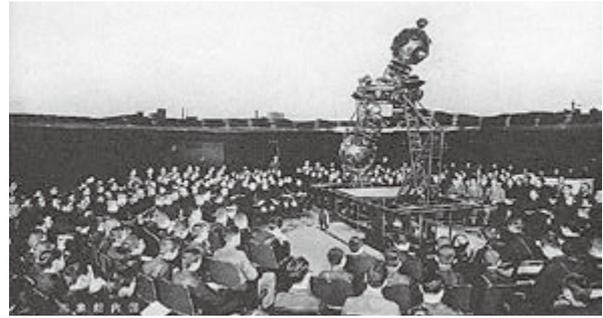


図 5.10.1 大阪電気科学館の座席

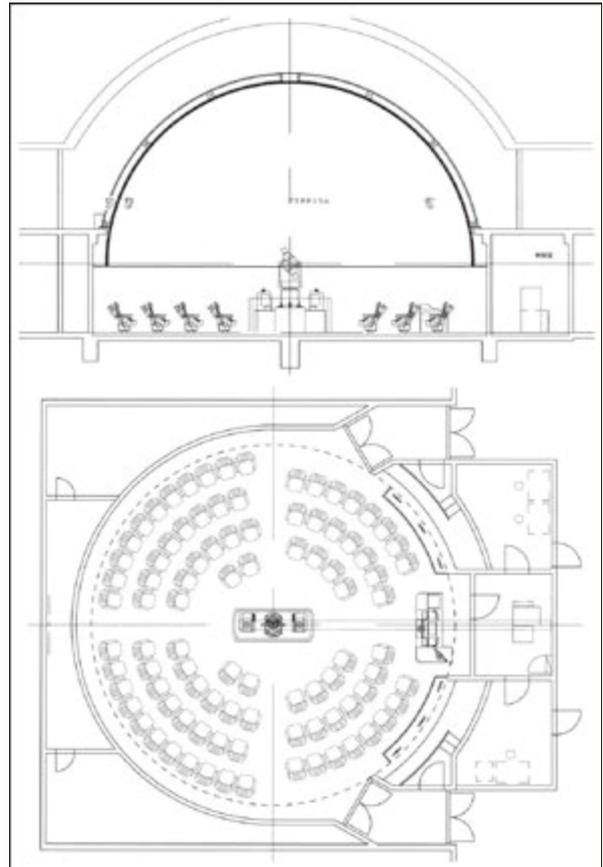


図 5.10.2 同心円配列の座席 (12m 水平ドーム)

## 5.10 座席 (リクライニングシート)

この第5章では、最初に真上のドームスクリーンの説明から始め、それから次第に下に降りてきてプラネタリウムのいろいろな投映機について話し、そして最後に床面にたどり着いた。ここでは、リクライニングシートの座席について述べる。

ツァイスのプラネタリウムが日本に入ってきたとき、座席のイスは、中央のプラネタリウムの投映装置の方を向いて座る、同心円配列であった (図 5.10.1)。

そのために、国産プラネタリウムの場合も、ツァイスのまねをして、座席はみな同心円配列であった (図 5.10.2)。

しかし、これでは大きなプラネタリウムの投映装置に隠されて、前方の星空がよく見えない。そこで、1976 年ごろから、南の方を向いて座る一方向配列のものが作られた (図 5.10.3)。プラネタリウムは、恒星の日周運動と惑星の年周運動を見せるのが主であるから、日本の場合は南を向いて座ればそれで十分なのである。

1980 年代になると、日本人による新彗星の発見、や超新星の発見などが相次ぎ、またハレー彗星が関勉氏によって日本で初めて撮影されるなど、天文宇宙の話題が茶の間を賑わせた。そのようなことがあって、宇宙型のプラネタリウムが開発されるに至ったのである。

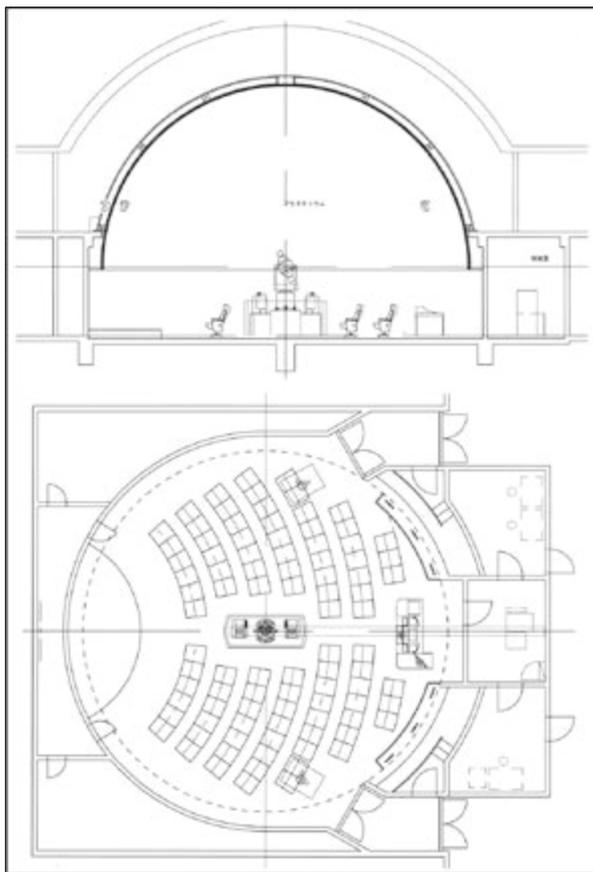


図 5.10.3 一方向配列の座席 (12m 水平ドーム)

宇宙型プラネタリウムについては後ほど詳述するが、宇宙に飛び出すと東西南北の方向や上下もなくなる。そこで、浮遊感を出すために傾斜ドームが採用された。そうなる、座席は一方向にせざるを得ない。従って、それから以降のプラネタリウムは、水平型・傾斜型を問わず、ほとんどが一方向の座席配列となった (図 5.10.4)。

つぎに、イスであるが、国産プラネタリウムが開発された 1959 年ごろは、座面も背当もベニヤ板を貼り合わせたような合板で、とても粗末なイスであった。しかも、背当を倒したり戻したりすると、キーキーと音がしてとても耳障りであった。



図 5.10.5 GS 型 8m 水平ドームのイス

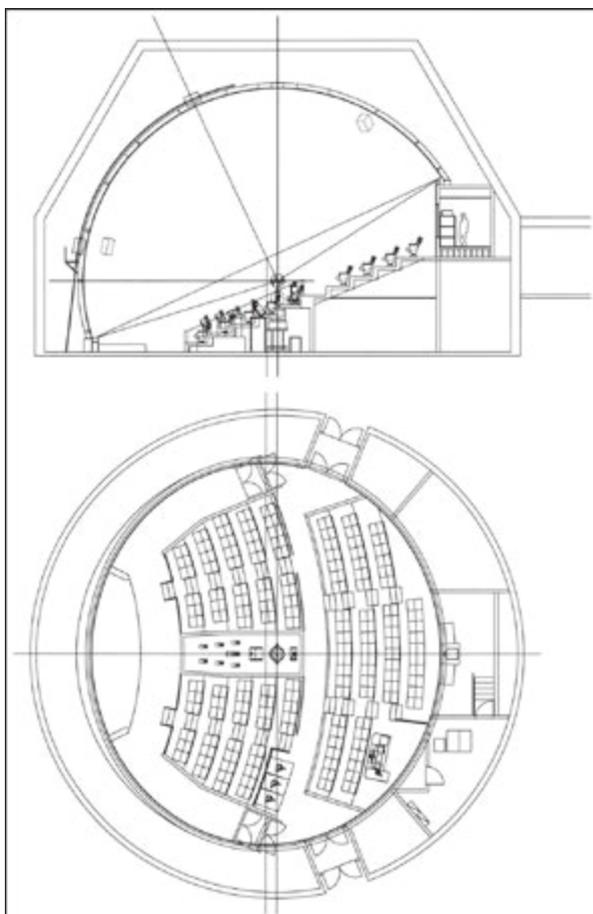


図 5.10.4 傾斜ドームと座席配列 (20m ドーム)

その後、座面にクッションが入り、背当にも布が貼られるようになり、時代とともに次第に豪華になって行く。1980 年代の傾斜ドームに宇宙型プラネタリウムと大型映像投射装置「アストロビジョン」を備えた宇宙劇場 (スペースシアター) で最高潮に達した (図 5.10.6、5.10.7)。



図 5.10.6 16m 水平ドームのイス

一例として示したリクライニングシート・コトブキ TS-4224 (図 5.10.8) は、プラネタリウム用に設計されたもので、客席の位置によって 3 パターンの角度設定ができるようになっている。また、ドームでの講演会等でも使えるように、レバーが設けてあり、イスの背を起したままにしておくことも可能になっている。



図 5.10.7 30m 傾斜ドームのイス

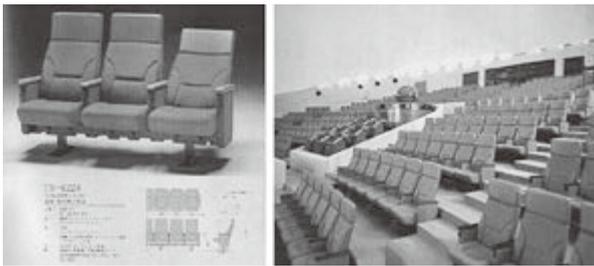


図 5.10.8 プラネタリウム専用イス「コトブキ TS-4224」

座面は、鋼板プレス加工、プルマフレックス ウレタンフォーム入り。

背当は、木枠で、ウレタンフォーム入り。

背裏は、かば成形合板 ポリウレタン塗装、リクライニング式。

肘は、かば材でポリウレタン塗装。

脚は、連結材は角鋼管。脚下は、鋼板プレス、合成樹脂焼付塗装 KC-260/280、床に固定。

定価は、¥135,000 (1 人分)。

#### 画像の出典

- (1) Becvar, A. Atlas of the Heavens  
Atlas Coeli 1950.0, 1979.
- (2) Tirion, W. Sky Atlas 2000.0, 1981.
- (3) Norton, A.P. Norton's Star Atlas and  
Telescopic Handbook, London, 1953.
- (4) イラスト提供 沼澤茂美
- (5) 「天文年鑑」1988 年版 誠文堂新光社、1988.

#### 参考文献

- ・ Goto Planetarium the Medium Size Model M-1  
五藤光学研究所
- ・ 広瀬秀雄著「天文学史の試み」誠文堂新光社、1981.
- ・ A. シュテルンフェルト著・金子不二夫訳「人工衛星」  
岩波新書、1958.

# 6 | 国産プラネタリウムの発展

## 6.1 黎明の時代

国産プラネタリウムの黎明期には、恒星の一部が映らない、惑星の年周運動が出来ないなど不完全な投映式のプラネタリウムがいくつかあった。1957年11月完成の信岡式I型（後に千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムI型と呼ばれた）、1959年5月完成の千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムII型（後のS型）、1959年7月完成の興和プラネタリウムなどである。従って、完全な投映式プラネタリウムの国産第1号は、五藤光学研究所のM-1型がその荣誉に輝いた。

### 6.1.1 五藤光学のプラネタリウム

#### 《M-1型》

五藤光学が、1959年に開発した中型プラネタリウムM-1型は、5月に晴海のコンベンションセンターで開催された東京国際見本市に出品され、特設館を設けて投映して見せた。



図 6.1.1 M-1 型のカatalogと機械明細書

パンフレットを見ると、当時はまだ博物館や科学館、児童館などが今のように多くなかったので、販売先のターゲットは、各地の観光施設やデパートだったことが分かる。

アメリカやソ連でもツァイスのような大型機を作っているが、大型機は複雑な機構で製作費もかかるので、購入費は7,000~9,000万円もする。その上、機械を設置して投映する20mくらいのドームも必要で、施設の建設費は膨大となる。当時、宇宙時代の到来とともに各社では中型や小型のプラネタリウムを作り出したが、南の星空の一部が映らなかったり、惑星の年

周運動ができなかったり、歳差運動のできないものもある。そこで、五藤光学では、実用上大型機とほとんど同じ機能を持ち、建設費が大型機の十数分の一の中型プラネタリウムを製作発売したというのである。因みに定価 650 万円。

#### 五藤式中型プラネタリウム M-1 型の機能

- ・ 本体構造：三軸運動部、恒星投映部、惑星投映部、架台部、本体支持三脚部。
- ・ 運動部：日周運動 47W DC モーター。  
年周運動 47W DC モーター。  
緯度運動 60W AC モーター。  
歳差運動 47W DC モーター。
- ・ 性能特色：恒星はレンズ投映で全天投映方式、惑星の年周運動、歳差運動、月の位相化、コンソールによる遠隔操作。
- ・ 恒星球部：恒星電球 100V 400W。  
恒星原板 ニッケル箔。  
恒星数 6 等星まで約 4,500 個。  
投映レンズ ヘキサー75mm、F3.5  
(3 群 4 枚構成のテッサー型)。  
集光レンズ 非球面コンデンサーレンズ。
- ・ 標準附属品：天の川、赤道・黄道、子午線、極点、歳差円、昼光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮の各投映機。
- ・ コンソール：操作スイッチ盤、電圧計、電流計、電源スイッチ盤、各照明灯、トランス、抵抗器。
- ・ 仕様：入力 3KVA AC100V 50 $\text{Hz}$ または 60 $\text{Hz}$
- ・ 標準附属品：テープレコーダー、マイクロフォン、スピーカー、指示灯、時計。
- ・ 補助投映機：人工衛星、日・月食、コメット、流星、太陽系、回転式星座絵、稲妻、オーロラ、虹、北斗七星固有運動の各投映機 (図 6.1.2)。
- ・ 重量：プラネタリウム 300kg、コンソール 340kg。
- ・ ドーム：標準ドーム径 10m。

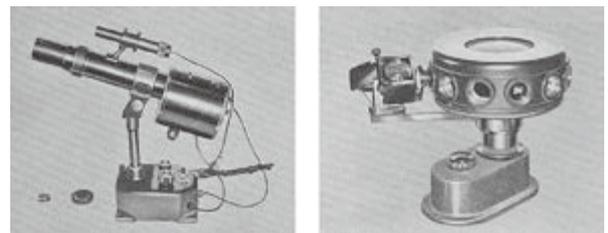


図 6.1.2 日・月食(左)、回転式星座絵(右) 投映機

東京国際見本市に出品された M-1 型は、その年（1959 年）の 11 月に台東区浅草橋公園 4 区 1 号地の新世界ビルに納入された。M-1 型の 2 号機は、1961 年 5 月に清水市日本平山頂の富士観センターに、3 号機は、1962 年 3 月に、広島県安芸郡江田島の海上自衛隊幹部候補生学校に納入された。

#### 《L-1 型》

1960 年 8 月 15 日、セントルイス市が作る科学博物館（図 6.1.6）の大型プラネタリウム国際入札が、西独ツァイスと米国のスピッツ、日本の五藤光学の 3 社が参加して行われた。五藤光学は、アメリカの総代理店の三菱商事に依頼して入札した結果、一番札を勝ちとった。そして、同年の 11 月に五藤齊三がセントルイスに飛び、12 月 4 日無事契約書にサインした。

当時、五藤光学は、世田谷区新町 1 丁目 115 番地の、三軒茶屋から二子玉川に向う玉川通り沿いにあった。

ところが、1964 年の東京オリンピックに先だって、1962 年に会社前の道路を拡幅工事をするというので、工場用地が買収された。その頃、府中市が工場の誘致を進めていたので、そのお金で土地を買い、工場を建設した。1962 年 10 月 5 日、その新築したばかりの社屋で、セントルイス向けの大型プラネタリウム L-1 型の完成披露会が行われた（図 6.1.11）。

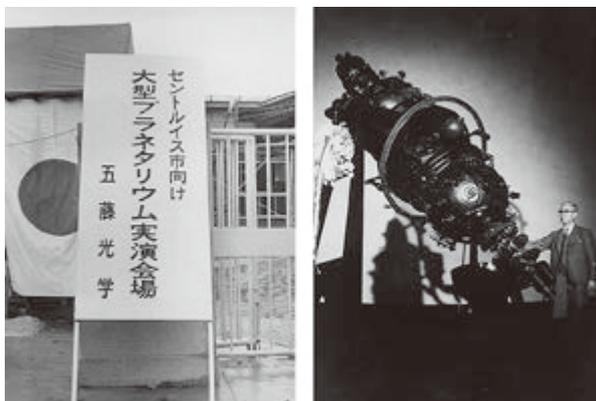


図 6.1.3 セントルイス向け L-1 型完成披露会

五藤式大型プラネタリウム L-1 型の機能と性能を以下にまとめた（図 6.1.4）。

#### < 投映装置関係 >

- ・恒星投映機：恒星数は 6.5 等級までの約 9,000 個、投映像の最大径は 30mm で、最少径は 2mm。さらに主な星雲・星団それぞれ 17 個を投映。  
恒星電球は 110V 1kW 2 個。黄極恒星電球は 110V 40W 2 個。その光源を

使った北斗七星の固有運動投映機が同架されており、別の駆動モーターによって 5 万年以内の固有運動を再現。

- ・シリウス投映機：恒星電球とは別の光源とモーターを持ち、シリウスの視差と光行差の変化をする装置が恒星球に同架。
- ・太陽投映機：真の太陽投映機筒から光球と光芒、対日照、黄道光を黄道上に投映。また、平均太陽投映筒から赤道上に平均太陽を投映。
- ・惑星投映機：水星、金星、火星の投映筒は 1 本。木星と土星の投映筒は 2 本で、肉眼的な円板像と望遠鏡的な拡大像をスイッチで切り換え。
- ・変光星投映機：アルゴル、ミラ、ケフェイドの変光周期を適当な相互比率で短時間で表現。
- ・付属投映機：天の川、薄明・薄暮、赤道・黄道、赤経・赤緯、子午線、極点、年号の各投映機と緯度読取装置。



図 6.1.4 L-1 型のカatalogと仕様書

#### < 運動装置関係 >

- ・日周運動：直流モーター駆動で無段階変速。最大速度は 1 回転 3 分。
- ・年周運動：直流モーター駆動で、日周運動との連動も可能。最大速度は 1 年 3 分。
- ・惑星運動：水星と火星は離心率が大きいので三重円板方式を採用。金星、木星、土星は二重円板方式。ギヤのバックラッシュを少なくするため、水星、金星、火星の運動機構を架台下に水平に設置し、惑星棚の投映筒を電氣的に伝動（図 6.1.5）。
- ・緯度変化運動：直流モーター駆動で変速可能。最大速度は 1 回転 4 分。
- ・歳差運動：この装置は年周運動と連動する装置と、

単独運動する装置により、回転速度は1回転4分。単独駆動には直流モーターを使用しているため、速度を連続的に変化して低速にすることが可能。現在に自動復帰する機能を持つ。

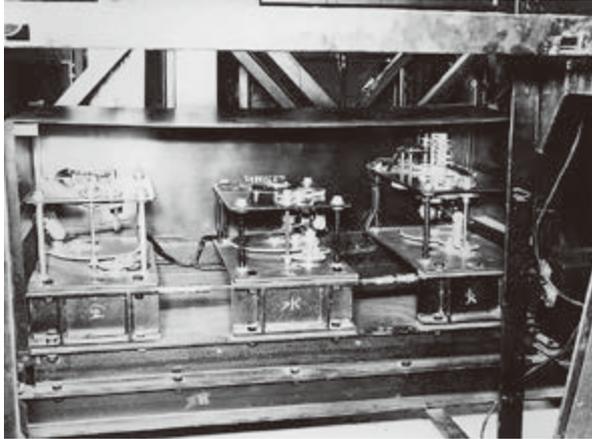


図 6.1.5 架台下の水星、金星、火星の運動機構

#### < その他の機能 >

- ・恒星原板：写真処理により製作。
- ・シャッター：恒星投映機、座標系投映機は重錘式。惑星投映機は水銀スイッチにより電氣的に行う。
- ・放熱方式：恒星投映機は電動ファンによる強制空冷。座標系投映機は放熱孔による冷却。
- ・その他：平均太陽その他の投映機は、明石市立天文科学館、天文博物館五島プラネタリウムと同等以上の精度であるが、歳差自動復帰装置、惑星機構の分離およびセルシンモーターによるリモート制御などは他にない独特の装置である。

#### < 付属投映機関係 >

- ・補助投映機：星座絵、太陽系、流星、日月食、彗星、火星、金星、人工衛星の各投映機。

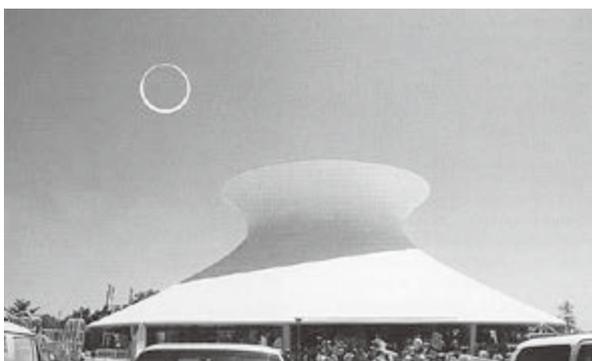


図 6.1.6 St. Louis Science Center

#### < コントロール・コンソール >

- ・照明台：説明台、スイッチ盤。
- ・制御機構：制御装置、入力定電圧（入力 208V 4線 3相で、出力 110V 60 $\frac{Hz}{}$ ）。磁気増幅器使用。

#### 《 S-3 型 》

大型プラネタリウム L-1 型をセントルイス市に設置し、世界に通用する技術を持ち得たという確信が社内に根差した頃、学校や地方自治体に小型普及型のプラネタリウムの要求が増えてきた。そこで、1963年に年周運動のできる惑星棚のついたレンズ投映式の小型プラネタリウム S-3 型（標準ドーム 8m）を開発した（図 6.1.8）。

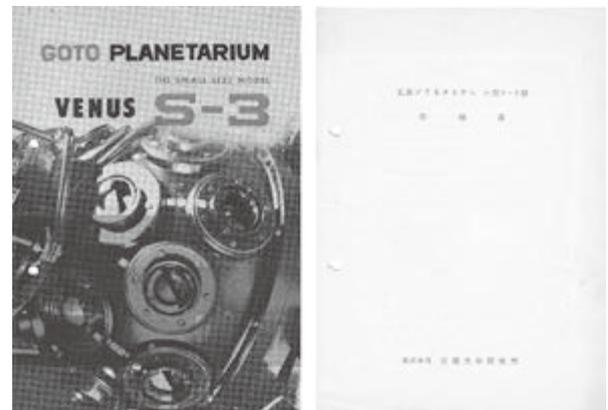


図 6.1.7 S-3 型のカタログと仕様書

#### 五藤式小型プラネタリウム S-3 型機能と性能（図 6.1.7）

- ・本体構造：三軸運動部、恒星投映部、惑星投映部、架台部、本体支持三脚部。
- ・運動部：日周運動 15W DC モーター、最高速度 1 回転 4 分。年周運動 15W DC モーター、最高速度 1 年 4 分。緯度運動 35W DC モーター。歳差運動 15W DC モーター。
- ・性能特色：小型ながら恒星は全天レンズ投映方式を採用。惑星の年周運動、歳差運動、月の位相化、コンソールによる遠隔操作。
- ・恒星球部：恒星電球 24V 100W。  
恒星原板 ニッケル箔。  
恒星数 5 等星まで約 2,700 個。  
投映レンズ トミノン 25mm、F3.5（3 群 3 枚構成のトリプレット型）。  
集光レンズ 非球面コンデンサーレンズ。  
アルデバラン、ベテルギウス、アンタレス、アルクトウルスは色を表現。

- ・標準附属品：天の川、赤道・黄道、子午線、極点、歳差円、昼光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮、昼光灯、青光灯の各投映機。
- ・コンソール：操作スイッチ盤、電圧計、電流計、電源スイッチ盤、各照明灯、トランス、抵抗器、指示灯。
- ・補助投映機：人工衛星、日・月食、流星、回転式星座絵、稲妻、オーロラ、虹の各投映機。
- ・重量：本体 180kg、コンソール 90kg。
- ・ドーム：標準ドーム径 8m。

1963年7月、第1号機が小樽市青少年科学技術館に、1964年2月、第2号機が世田谷区立天文館に、同じく第3号機が愛媛新聞社に納入された。

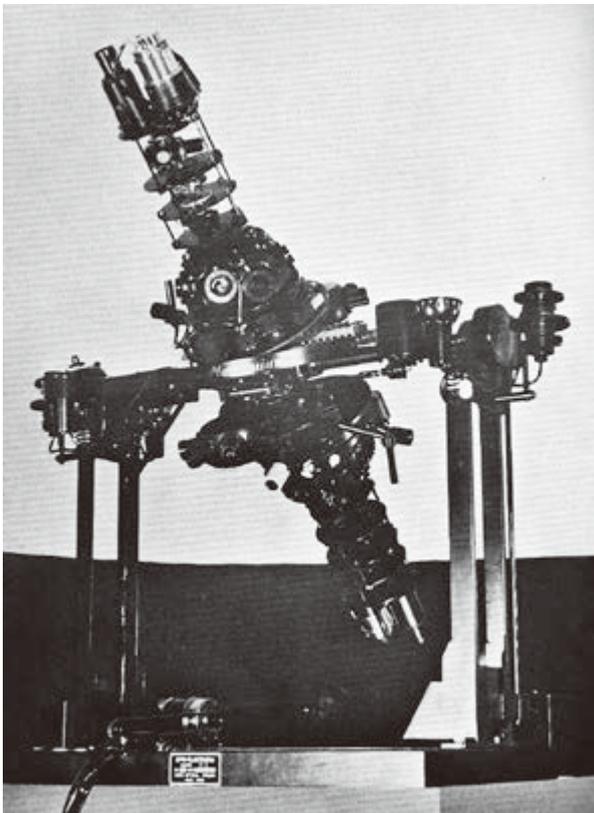


図 6.1.8 小型プラネタリウム S-3 型 (初期型)

#### 《 M-2 型 》

五藤光学は、1959年からわずか4年で、10mドーム用のM-1型、20m用のL-1型、そして8m用のS-3型と、矢継ぎ早に大・中・小のプラネタリウムを開発した。しかし、大型と中型の間が空きすぎているというので、1963年に急遽、M-1型を母体とした15m用の中型プラネタリウムM-2型(図6.1.10)を開発した。従って、M-2型の機械部分は、M-1型とほとんど同じであるが、ドーム径が大きくなった分、光源などのパワーアップが図られた。



図 6.1.9 M-2 型のカatalogと英文のリーフレット

#### 五藤式中型プラネタリウム M-2 型の機能 (図 6.1.9)

- ・本体構造：三軸運動部、恒星投映部、惑星投映部、架台部、本体支持三脚部。
- ・運動部：日周運動 47W DC モーター。  
年周運動 47W DC モーター。  
緯度運動 60W AC モーター。  
歳差運動 47W DC モーター。
- ・性能特色：恒星はレンズ投映で全天投映方式、惑星の年周運動、歳差運動、月の位相化、コンソールによる遠隔操作。
- ・恒星球部：恒星電球 100V 600W。  
恒星基板 ニッケル箔。  
恒星数 6等星まで約 6,000 個。  
投映レンズ ヘキサー75mm、F3.5 (3群4枚構成のテッサー型)。  
集光レンズ 非球面コンデンサーレンズ。
- ・黄極恒星：投映レンズ Dズイコー50mm (3群4枚構成のテッサー型)。
- ・標準附属品：天の川、赤道・黄道、子午線、極点、歳差円、昼光、蒼光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮、黄極点、銀極点の各投映機。
- ・コンソール：操作スイッチ盤、電圧計、電流計、電源スイッチ盤、各照明灯、トランス、抵抗器。
- ・仕様：入力 3KVA AC100V 50 $\phi$ または 60 $\phi$ 。
- ・標準附属品：テープレコーダー、マイクロフォン、スピーカー、指示灯、時計、デスク灯。
- ・補助投映機：人工衛星、日・月食、コメット、流星、太陽系、回転式星座絵、稲妻、オーロラ、虹、北斗七星固有運動の各投映機。
- ・ドーム：標準ドーム径 15m。

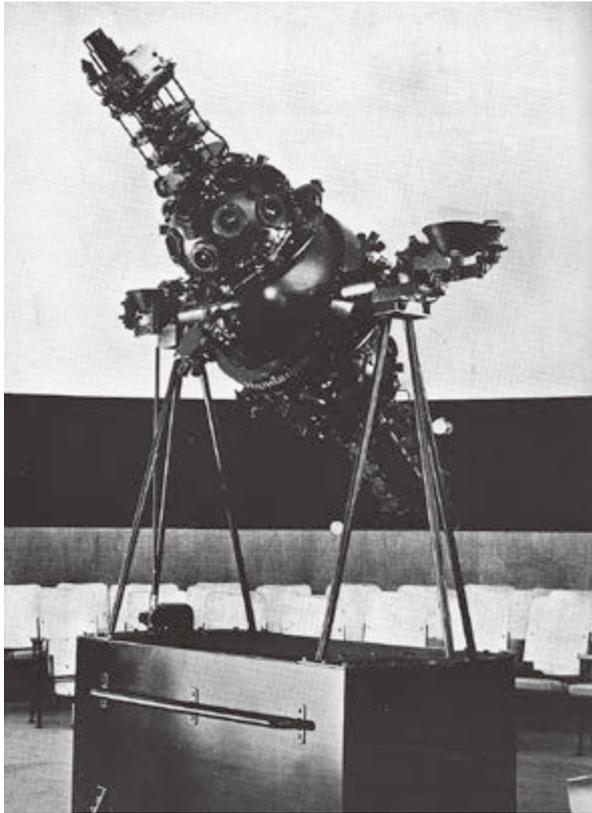


図 6.1.10 中型プラネタリウム M-2 型

この M-2 型の第 1 号機は、1963 年 4 月岡山県立児童開館に納入された。第 2 号機は、1966 年 3 月高知新聞社に、そして第 3 号機は、1964 年 4 月宮城県の仙台市天文台に納入された。

#### 《 JHS カスタムと GL-20 型 》

1968 年、アメリカの海運業と鉄道業で財を成した実業家（後に鉄道王と呼ばれた）コーネリアス・ヴァンダービルト（Cornelius Vanderbilt）の名前を冠したプラネタリウムの建設に際して、激的な仕様競争があった。要求された JHS カスタム プラネタリウム（JHS はディレクター J.H. Sharp の頭文字をとったもの）の仕様は、「世界のどこにもない美しく精度の高い星野、天文現象を忠実に再現する高い惑星投映機、操作に素早く反応する高い運動性能…云々」といったもので、どれも実現が困難なものであった。

しかし、セントルイスで発揮した技術者魂は少しも衰えることなく、カール・ツァイス社との激的な仕様競争に打ち勝って受注することになった。

その後、北九州市からドーム直径が 20m の東洋一（当時）の大きさのプラネタリウムの受注があり、回転架台とスカイライン投映機を組み込んだ、今日の本体システムの原型となる形式のものを、JHS カスタム機と同時並行して開発することになった（図

6.1.11）。

1970 年に行われた北九州市の据付けには、製造部から多数のメンバーが投入され、人海戦術で短期間に仕上げられた。その据付け中に出た様々な問題点は直ちに設計にフィードバックされ、ヴァンダービルト据付けの準備が行われた。因みに、ヴァンダービルトの据付けは 1971 年に行われた。

J.H. シャープは、自ら投映された恒星の数を正確に数え、等級の精度と星野の美しさを評価し、惑星や月の位置精度を測定し、“Sky and Telescope (1972 年 8 月号)” に、「世界で最も美しい星野と最も精度の高い惑星投映機」とこのプラネタリウムを称賛している。

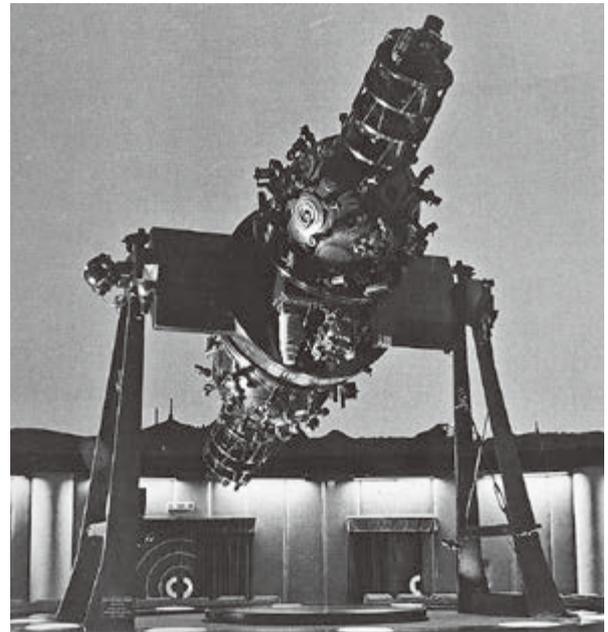


図 6.1.11 北九州市立児童文化科学館の GL-20 型

#### JHS カスタムの機能と性能

恒星は、6.75 等星までの全てを網羅した合計 11,369 個の恒星を映し出し、且つ 21 個の星雲星団を含んでいる。投映像は、ポグソンの法則に極めて厳密に従っており、6.25 等星までは 0.1 等星毎に差を設けてある。その結果、視覚の鋭さの程度に応じた人々は、プラネタリウムの星空で自然と同じ数の星を見ることができるといふことに合せたものである。

主恒星投映機は、1,200W の白熱電球を光源としている。しかし、その色温度はわずか 3,000° K にすぎず、投映像の色温度を 5,400° K に上げるため、色温

度変換フィルターが恒星投映筒に嵌められている。一方では、光源の安定的完全な調光が保たれている。こうして、高度にリアルな星空が得られている。因みに、60ft ドーム上での最大の星の大きさは18mm以下である。

1.9等星以上のブライトスターは、個々にフィルターがつけられ別投映されている。シリウスは誇張した割合で楕円形の見かけの視差を表現できる。ミラ、アルゴル、ケフェイドの変光も同様にできる。

星の位置精度は、ドームスクリーン面で狐の3'よりも更に良くなっており、空前のものである。

このプラネタリウムの月は、独特の中心差機構により、主な摂動 — 長軸の動き — を描き出すことができる。それによって、月の軌道の長軸は8.85年の周期で地球上を順行する。投映された月の最大誤差は、1.5°まで減少されており、従来の最良のプラネタリウムに比し、4倍以上も改良されている。

JHS カスタム機における4つの標準運動は、全て1:90以上の速度比で変速できる。日周、緯度、歳差は1回転1分の最大速度を持ち、年周運動では、太陽は月および惑星とともに20秒で黄道を一周する。

全システムは、サーボコントロールされており、4つの運動は全てコンソールで読み取れる。従って、座標系を投映しなくとも、年周による日は2、3日の範囲内で、緯度は1°以内、歳差は100年以内、恒星時は10分以内の範囲でセットすることができる。

(Sky and Telescope 誌1972年8月号に掲載された、フィリップ・ハリソン (Philip L. Harrison) の「The Vabderbilt Planetarium」の一部を当時五藤光学が翻訳した抄訳より。)

また、JHSの惑星棚の設計等に参加した高橋由昭は、「惑星棚の基本原理はツァイス社によって発明され、様々な改良が加えられて現在に至っている。当社においても初期の頃はツァイスの機構をそのままコピーしたような設計を行っていたが、経験を積むに従って独自の機構を考え出すようになってきた。

諸先輩の残したレポート等を紐解くと、機構の動きを「如何にケプラーモーションに近づけるか」という一点に集中して研鑽を積み重ねたかということが強く感じられる。わずかに数分の誤差を取り除くために、膨大な時間と叡智を投入し、やがてツァイスをも凌ぐ精度を誇る惑星棚を完成させるに至った事実、あらためて敬意を表したい。」と述べている。

ミノルタや五藤光学の初期のプラネタリウムでは、ドーム地平線付近の景色は、ドームスクリーンが漆喰の場合は、黒の塗料で景色を描き、ドームスクリーン



図 6.1.12 北九州の GL-20 型のスカイライン投映機

がパンチングシートの場合は、ドームスクリーンを景色の形に切り欠いて後ろを黒く塗った、所謂シルエットにするのが普通であった。

しかし、それでは緯度を回して他の場所に行った場合、地元の景色のままでは如何にも都合が悪い。そこで、セントルイスでは、地平線付近に複数のスライド投映機を置いて、向かい側の地平線上に、本体を避けて少し斜めに投映するようなスカイライン投映機にした。

しかし、ドーム壁面から斜めに映すのでは、映像が大きく歪み原板を作るのが難しい。そこで、本体の架台から投映するようにしたのが、GL-20型のスカイライン投映機である(図6.1.12)。こうすると、景色とともに架台が回転するので、観客の向いている方位を換えるのに便利でありとても人気があった。

余談になるが、惑星投映機がプリセット式なので今回は取り上げないが、五藤光学にはS-3型よりもさらに小さなドーム径(5mと7.5m)で使用する、S-1型とS-2型という機種があった(図6.1.13)。

また、恒星がピンホール式の教室で使えるポータブ



図 6.1.13 S-1 型(左)と S-2 型(右)



図 6.1.14 左から EP-1、EP-2、EP-3 型

ルタイプの教育用の EP 型もあった (図 6.1.14)。

五藤光学は、M-1 型を開発してからわずか 4 年で、これだけのラインナップを完成させたのであるから感心するばかりである。その期間にセントルイス向けの大型プラネタリウム L-1 型の開発を含んでの話である。

五藤光学がとても活気のあった時代で、毎週土曜日の夜、五藤光学提供の TBS ラジオ番組「星への誘い」を放送していたのもこの頃である (図 6.1.15)。



図 6.1.15 TBS ラジオ番組「星への誘い」の録音風景 (左が国立科学博物館の村山定男、右が女優の鳳八千代)

このように、五藤光学の M 型と S 型のプラネタリウムが 1960 年代の 10 年間を支えたのである。

### 6.1.2 ミノルタのプラネタリウム 《ノブオカ式プラネタリウムⅢ型》

現在のコニカミノルタプラネタリウム株式会社は、プラネタリウムを開発した 1958 年頃は、千代田光学精工株式会社といった。しかし、4 年後の 1962 年 7 月から社名をミノルタカメラ株式会社に変更しているので、ここでは千代田光学時代も含めてミノルタと記述することにした。

ミノルタが、最初に製作した完全な投映式プラネタリウムは、千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムⅢ型である。このⅢ型は、その後 ML-25 として 1960 年に発売されたが、なぜか販売された形跡はない。ところで、ミノルタから提供を受けた資料の中に、「ノブオカ式プラネタリウム解説」というコピーがあった (図 6.1.16)。その書出しに「ノブオカ式プラネタリウムⅡ型は概ねツァイスプラネタリウムⅡ型と全様の型式で設計せられて居り、恒星 (約 8000 個) 及太陽系 (太陽惑星月) の状態及運行の有様を正確に再現し、…云々」とある。

ところが、この中に書いてある惑星運動の歯車割出誤差の表と添付されている A2 の図面が、ノブオカ式プラネタリウム S 型とⅢ型について書かれた「千代



図 6.1.16 ノブオカ式プラネタリウム解説

田光学製ノブオカ式プラネタリウム解説書」(図 4.24) から、図 6.1.16 の解説がⅢ型のものであることが分かった。そこで、この解説と千代田光学製ノブオカ式プラネタリウム解説書などから推測したⅢ型の機能と性能は下記の通りである。

### ノブオカ式プラネタリウムⅢ型 (ML-25) の機能と性能

- ・適用ドーム径：10~30m (標準 20m)。
- ・恒星電球：2kw の白熱電球。きらめき投映機が付属。
- ・恒星投映筒：南北両球に 16 個づつ設けられた投映筒には非球面コンデンサーレンズを採用。
- ・恒星原板：0.05mm の黄銅板に、0.03~0.45mm 微小孔を開け、6.5 等星までの約 9,000 個を投映。
- ・投映レンズ：アストロロコロール (3 群 4 枚のテッサー型)。
- ・惑星投映機：各惑星の公転周期、離心率、軌道傾斜等正確に表現するため、多数の歯車と精密仕上げの支持金具、近年発達したミニチュアベアリングを多数利用し、惑星運動を正確に表現。
- ・その他の投映機：赤道・黄道、子午線、緯度指示、朝焼・夕焼。
- ・補助投映機：汎用、絵画 (星座絵)、日食月食、太陽系、人工衛星、恒星固有運動、オーロラの各投映機。
- ・販売価格：4,500 万円。

元ミノルタプラネタリウム社員で、現在日本プラネタリウムサービス株式会社代表の鈴木孝男は、Ⅲ型プラネタリウムなどが売れなかったのは、カメラを売ると同じ方法で販売していたからではないかと言って

いる。しかし、著者は10mドーム用のMS-10が550万円、15mドーム用のMS-15が850万円であった時代に、いくら20mドーム用の大型プラネタリウムでも4,500万円は高すぎたと推察する。

### 《謎のノブオカ式プラネタリウム M型》

ミノルタから提供を受けたコピーの資料を見ていると、「M型仕様書」という資料が出てきた(図6.1.17)。枠の下に千代田光学精工株式会社と印刷されているから、1962年7月以前に書かれたものである。

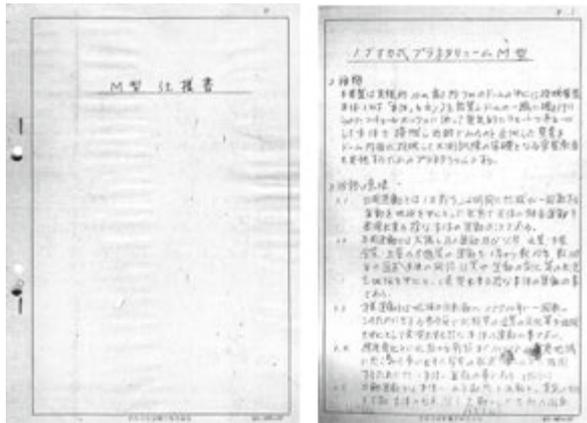


図6.1.17 M型仕様書

表紙をめくると「ノブオカ式プラネタリウム M型」とある。千代田光学製ノブオカ式プラネタリウムは、I型とS型、Ⅲ型の3種類だけと思っていたので驚いた。種類の項に、「本装置は、直径約10m、高さ約7mのドームの中心に投映装置本体(以下「本体」と云う)を設置し、ドームの一端に据付けられたコントロールボックスに依って電氣的にリモートコントロールして本体を操縦し、肉眼で見ると近似した星空をドーム内面に投映して、天測訓練の基礎となる索星教育を実施するためのプラネタリウムとする。」とある。

このことから、この謎のプラネタリウムは、天文航法について学ぶ人々に星を教えるためのものと解釈される。おそらく、商船学校などに販売するために開発されたものと考えられるが、これまた販売された形跡がない。

この仕様書から読み取れる機能・性能は以下の通り。

#### ノブオカ式プラネタリウム M型の機能と性能

- ・適用ドーム径：10m。
- ・恒星電球：12V120W (或は12V180W)、きらめき付。
- ・恒星投映筒：投映筒はコンデンサーレンズ及び恒星原板、投映レンズから成る。
- ・恒星原板：ノルトン星図を基に作られ、極薄真鍮板

に細孔を開けたもの。約9,000個の恒星を投映。

- ・投映レンズ：プラネタリウム用に設計されたアストロロコロール (3群4枚のテッサー型)。
- ・惑星投映機：45°の角度を持った反射鏡を歯車の連動装置により動作させ、光源から出た反射光をドームに投映する。
- ・その他の投映機：天の川、赤道・黄道、子午線、歳差目盛、球面三角、朝焼・夕焼、昼光・青光。

### 《MS-10》

ミノルタが最初に販売した、恒星がレンズ投映式で、惑星の年周運動が可能な投映式のプラネタリウムは、1966年に発売された中型プラネタリウムMS-10である(図6.1.18)。

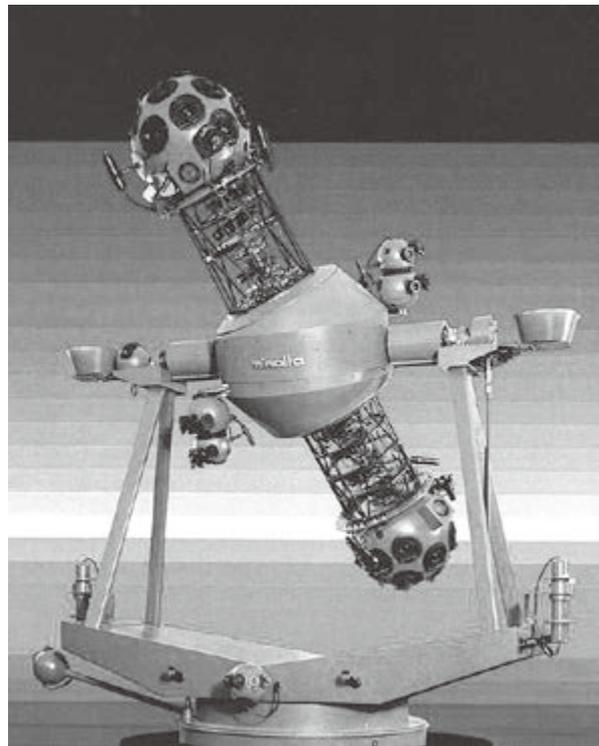


図6.1.18 中型プラネタリウム MS-10

#### ミノルタ式中型プラネタリウム MS-10の機能と性能

##### <構成>

- ・型式：MS-10。
- ・投映ドーム：10 - 12m。

##### <性能>

- ・運動：日周運動 最高2分/日まで無段変速。
- 年周運動 最高2分/年まで無段変速。
- 歳差運動 最高1分/周まで無段変速。
- 緯度変化 最高2分/周まで無段変速。

- ・恒星：4群6枚オルソメーター投映レンズ。  
12V 180W 白熱電球。  
1等星から6等星までの約6,000個。  
原板は金属板に特殊加工。  
きらめき装置付(図6.1.19)。
- ・1等星：シリウス、カノープス別投映、他の18個は特殊増光装置付。
- ・色調：1等星12個には固有の色調。
- ・星雲・星団：4星雲と4星団。
- ・変光星：ミラ。
- ・座標系：赤道、黄道、子午線、極点、天頂点、歳差目盛、方位。
- ・星座絵：投映機2個、原板20種。
- ・自然現象：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮。

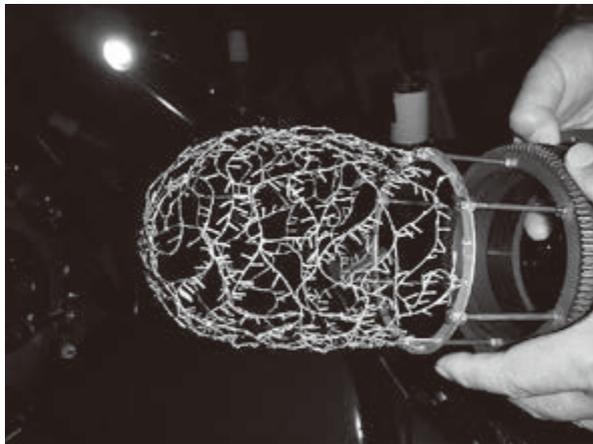


図6.1.19 MS-10のきらめき装置の籠

きらめき装置というのは、恒星電球にかぶせて使うもので、恒星を点灯するとゆっくりと回転し、籠の網になっているところの線でつぎつぎと光が遮られるので、恒星全体がチカチカと瞬くという仕組みのものである(図6.1.19)。ところが、停止すると籠の網にあたる場所の星が遮られるので、重要な明るい星が見えなくなる場合もある。

#### 《 MS-15 》

1969年に発売された、中型プラネタリウム(図6.1.20)。

#### ミノルタ式大型プラネタリウム MS-15 の機能と性能

##### < 構成 >

- ・型式：MS-15。
- ・投映ドーム：14 - 17m。

##### < 性能 >

- ・運動：日周運動 最高2分/日まで無段変速。  
年周運動 最高2分/年まで無段変速。  
歳差運動 最高1分/周まで無段変速。

緯度変化 最高2分/周まで無段変速。

- ・恒星：4群5枚の投映レンズ。  
12V 400W 白熱電球(後に100V 1kWハロゲン)。  
1等星から6.5等星までの約8,500個。  
原板は金属板に特殊加工。  
きらめき装置付(図6.1.19)。
- ・1等星：20個別投映、固有の色調を表現。
- ・星雲・星団：11個。
- ・変光星：3個(ミラ、アルゴル、デルタケフェウス)。
- ・座標系：赤道、赤道グリッド、黄道、子午線、極点、歳差目盛、銀極点、地平高度、方位角、方位、地区緯度。
- ・自然現象：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮。
- ・星座絵：投映機12個、原板20種。

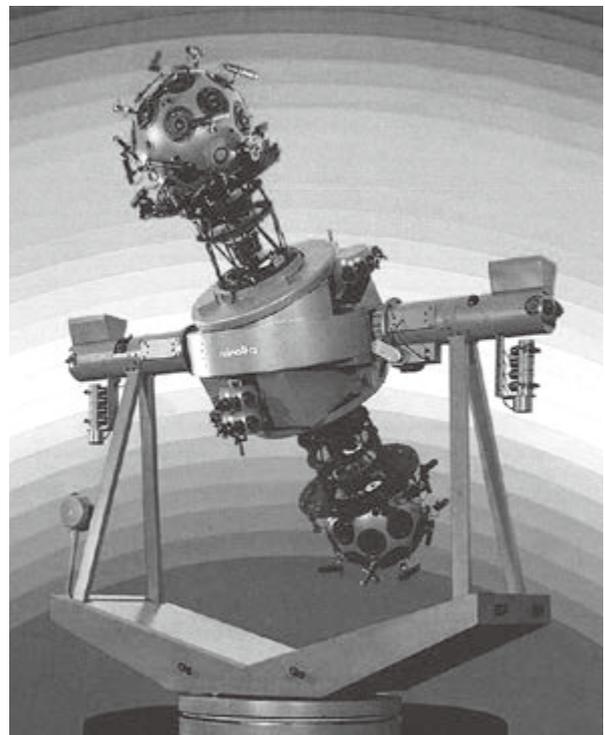


図6.1.20 大型プラネタリウム MS-15

#### 《 MS-8 》

1971年に発売された、小型プラネタリウム(図6.1.21)。

#### ミノルタ式小型プラネタリウム MS-8 の機能と性能

##### < 構成 >

- ・型式：MS-8。
- ・投映ドーム：7.5 - 9m。

##### < 性能 >

- ・運動：日周運動 最高2分/日まで無段変速。  
年周運動 最高2分/年まで無段変速。  
歳差運動 最高2分/周まで無段変速。

緯度変化 最高2分/周まで無段変速。

- ・ 恒星：3群4枚テッサー投映レンズ。  
12V 100wW 白熱電球（後100V 300W ハロゲン）。  
1等星から6等星までの約3,500個。  
原板は金属板に特殊加工。  
きらめき装置付（図6.1.19）。
- ・ 1等星：シリウス、カノープスは特殊増光装置付。
- ・ 色調：1等星7個には固有の色調。
- ・ 星雲・星団：3星雲と1星団。
- ・ 座標系：赤道、黄道、子午線、極点、天頂点、歳差目盛、方位、地平高度、方位角。
- ・ 自然現象：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明。

このように、1950年代末から1960年代にかけてのプラネタリウム界は、実に混沌とした時代であった。

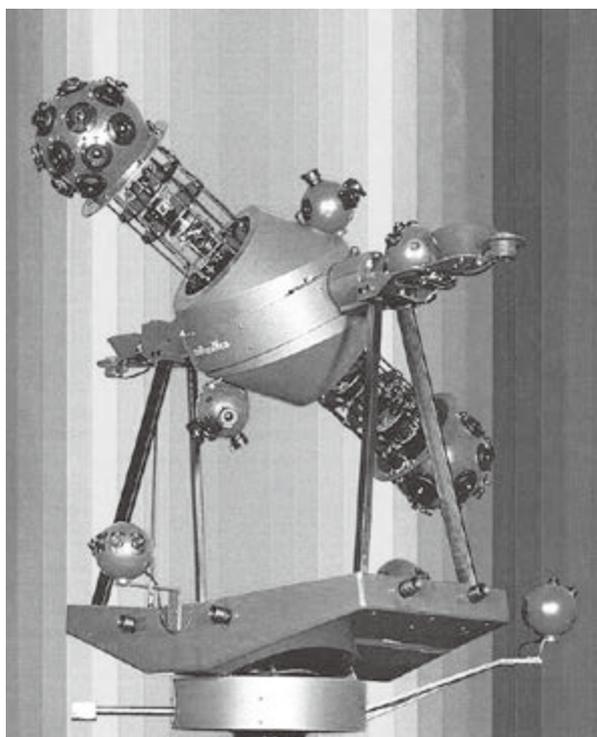


図 6.1.21 小型プラネタリウム MS-8

## 6.2 発展の時代

### 《Gシリーズ》

五藤光学は、1967年にアメリカにおける一手販売契約をビューレックス社（Viewlex PLANETARIUM UNLIMITED, INC.）と結んでいた。その時のラインナップは、表6.1の通りである。

表 6.1 ビューレックスのラインナップ

国内名	輸出名	恒星投映方式	ドーム径
E-5型	EROS	ピンホール	4~5m
E-5型	APOLL	ピンホール	3~5m
S-1型	MERCURY	ピンホール	6m
S-3型	VENUS	レンズ投映	8m
M-1型	MARS	レンズ投映	10m
M-2型	JUPITER	レンズ投映	15m
L-1型	SATURN	レンズ投映	20m

ビューレックスは、映写機などの教育器機を販売する会社で、当時はティーチングマシーンに力を入れていた。そこで、1971年になって、ティーチングマシンの1つにS-3型（海外はVENUS）を使いたい。コンソールは自分のところで作るから、本体だけを使わせて欲しいという提案があった。これが、VENUSの「MARK II」構想である。

当時、五藤光学では、大型の受注が続いたことはあったが、プラネタリウムの全体的な需要については悲観的な見方が支配的になっていた。プラネタリウムのような商品は、世界的に見てもある規模以上の大都市以外には入らない。国内では既にほとんどの所には入ってしまったのではないかというのである。事実、受注は伸びず、生産は停滞気味であった。そこで、これまでのような、町工場的な手作業による現合主義の生産方法から、理論指向による生産体制に変えようというのである。

こうして、VENUSの「MARK II」構想も取り込んで、Gシリーズの開発が始まったのである。

- (1) 新しいデザイン
- (2) きれいな星空、
- (3) 高精度の惑星

をコンセプトに掲げ、その結果、

- (a) 撓みのないコンパクトなデザイン
- (b) 減光マスクによる実天に近い星空
- (c) 三重円板と中心差機構を取り入れた惑星棚

として、コストパフォーマンスに優れたプラネタリウムを世に送り出した。Gシリーズは、1972年のGX-10型に始まり、同年のGM-15型とGS-3型、1973年のGE-6型が第1期である（図6.2.1）。

さて、新しいデザインであるが、Gシリーズは、架台が回転するようになっているので、架台の中央が水平で、左右は鳥が翼を広げたように斜めになっており、その端から左右それぞれ2本の四角い支柱が上の方に行くに従って狭くなった形で立っていて、緯度軸

を支えている。緯度軸は支柱よりも外側まで延びていて、そこが架台から本体に電気を送るためのスリップリングになっている。Gシリーズのプラネタリウムは、このように統一されたデザインになっている。

つぎに、きれいな星空であるが、前にも述べたように、恒星の明るさの違いは、恒星の大きさ（直径）の違いによって表している。従って、それぞれの等級の恒星の直径は、最小等級の恒星の直径によって一義的に決まる。ところで、写真の乾板上に正しく円形に写る最小の直径は、0.01mmとされている。

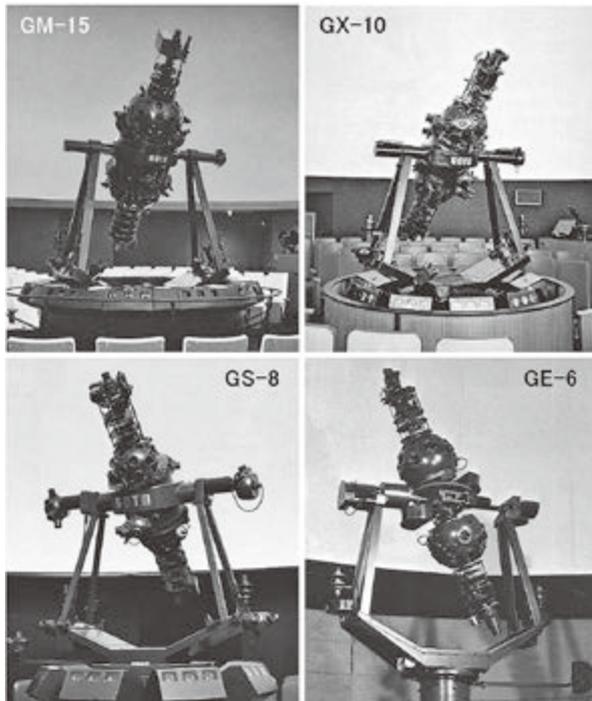


図 6.2.1 Gシリーズ第1期の本体デザイン

従って、写真処理によって恒星原板を製作する場合は、最小等級の穴径は0.01mmということになる。

すると、恒星の投映倍率によっては、明るい恒星の直径が大きく成り過ぎて、きれいな星空とは言えなくなる場合がある。そのような場合は、1等星のような明るい恒星を別投映にして、それによって恒星の直径を押えている。これをブライトスター投映機という。

ただ、Gシリーズからは恒星電球を、白熱電球からハロゲン電球に換えてパワーアップを図っているので、投映倍率の高いGM-15型のような場合は、ブライトスターとは逆に減光方式を採用したのである。

6等星の明るさを1とすると、1等星の明るさは100で、2等星の明るさが40である。そこで、2等星までを普通の穴径で、2等星よりも明るい恒星を2等星を最小にした時の穴径で恒星原板を作る(図6.2.2)。

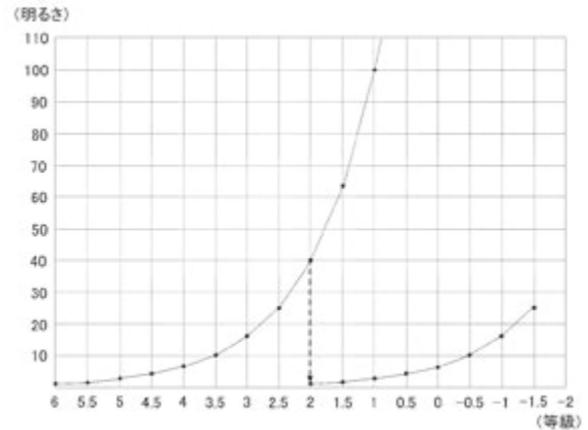


図 6.2.2 減光マスク方式の恒星階差表

つぎに、恒星原板と同じ直径の円板ガラスで透過率40%のNDフィルターを作り、2等星よりも明るい恒星のところだけ素通しにした減光マスクを作る。そして、恒星原板と減光マスクを重ねて投映すると、星の直径の小さい「きれいな星空」を作ることができる。GM-15型の恒星原板には、この減光マスク方式が採用されている。図6.2.3の矢印の先が素通しの減光マスク。



図 6.2.3 GM-15型の減光マスク

高精度の惑星投映については、GX-10型の離心率の比較的大きな水星と火星の投映機に、三重円板方式が採用された。

手許にGX-10型の三重円板システムの写真がないのでG1014siの火星投映機の三重円板システムの写真を掲げる(図6.2.4)。上方の写真では、矢印の先の切込みのある円板が、その上の火星軌道板からわずかに手前を出ている程度である。しかし、下方の写真では、矢印のように火星の軌道板から大きく外に飛び出していることが分かる。このように動くことによって、火星が楕円軌道からズレた量を補正しているのである。

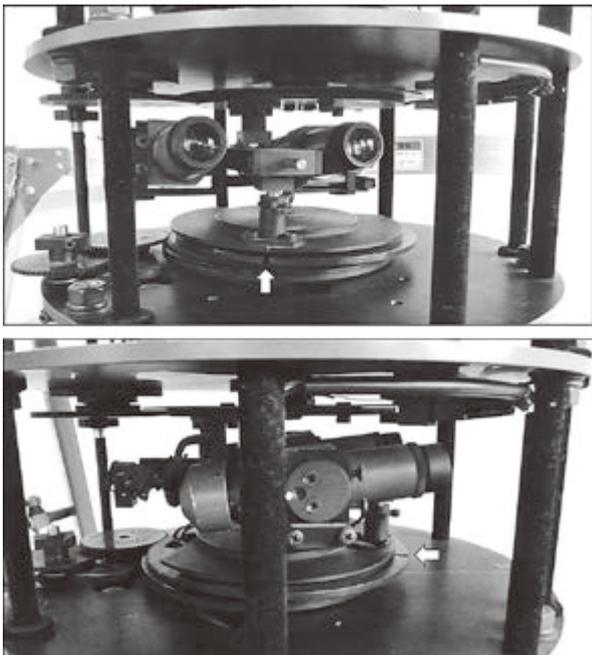


図 6.2.4 G1014si 火星投映機の三重円板システム

その他、G シリーズから、販売のターゲットを観光地や遊園地などの娯楽施設から、次第に教育施設へとシフトし拡大して行ったようで、つぎのような機能が追加された。

#### 《新機能》

- ・ 架台が、回転するターンテーブルになり、方位角と地平高度の投映機が取り付けられ、星の地平高度と方位角が測定できるようになった。
- ・ 太陽が沈んだ後の夕焼けの方向や太陽が昇る前の朝焼けの方向が、季節によって変えられるように、朝焼・夕焼季節変化装置が付く。
- ・ 日周運動を行うと、その日数分の公転運動が年周運動に加算される機能が付加された。
- ・ 緯度軸が自分のところの緯度（地区緯度）に自動復帰する機能が付加された。

#### 《GM-15 型》

- ・ 恒星像を自然に近くするために、恒星原板に濃度差方式が導入された（前述）。
- ・ 太陽投映機が、太陽像 2 本の他に、太陽光芒 2 本、対日照 1 が付き、計 5 本となった。
- ・ これまでは解説者によるライブ投映が殆どだったが、自動演出を可能にしたオートマチック機構が開発された。
- ・ 太陽位置読取装置（太陽の位置が計器に示される）。
- ・ 日の出予告装置（日の出直前に予告ランプが点灯する）などが付加された。

#### 《GX-10 型》

- ・ 太陽位置読取装置（太陽の位置が計器に示される）。
- ・ 日の出予告装置（日の出直前に予告ランプが点灯）。

#### 《その他の補助投映機》

- ・ 超新星投映機。
  - ・ 天王星、海王星、冥王星投映機。
  - ・ ラジオスター投映機。
  - ・ 中間方位投映機。
  - ・ 補助太陽投映機（夏至と冬至の時の太陽を投映する）。
- などが新たに追加された。

## 6.3 安定の時代

#### 《MS-6 》

ミノルタの MS-6 は、明日の科学の芽を育てる教育器機、宇宙時代の視聴覚機器として、一校一台の高精度超小型プラネタリウム。

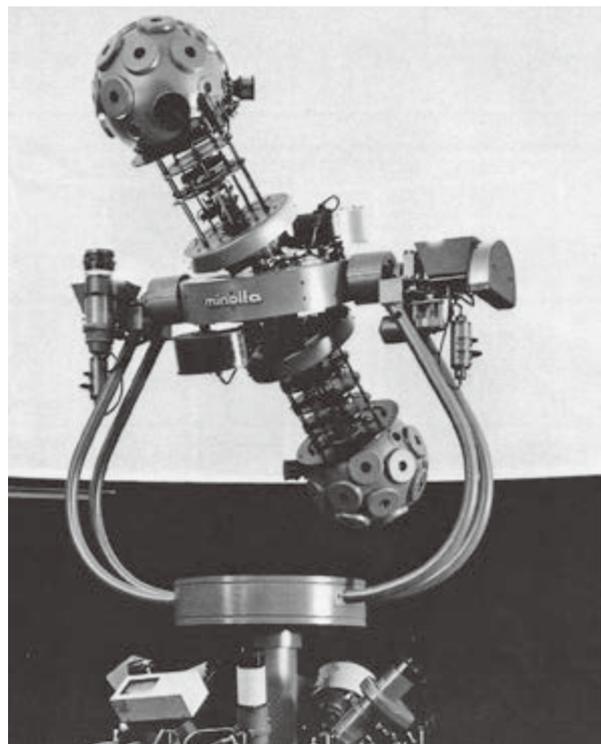


図 6.3.1 超小型プラネタリウム MS-6

#### ミノルタ式超小型プラネタリウム MS-6 の機能と性能

- ・ このクラス最高の約 3,100 個の恒星や太陽系の投映はすべてレンズ投映方式。
- ・ 日周・年周・歳差・緯度変化の運動操作や、プログラミングボードによる豊富なスライド投映機群の操作も、すべてワンタッチでリモートコントロール可能。

### 《 MS-15AT 》

1978年発売のGM-15ATは、天文学のメッカアリゾナ大学向けに開発され、続いてアメリカ空軍士官学校の訓練用にも設置された大型プラネタリウムである(図6.3.2)。

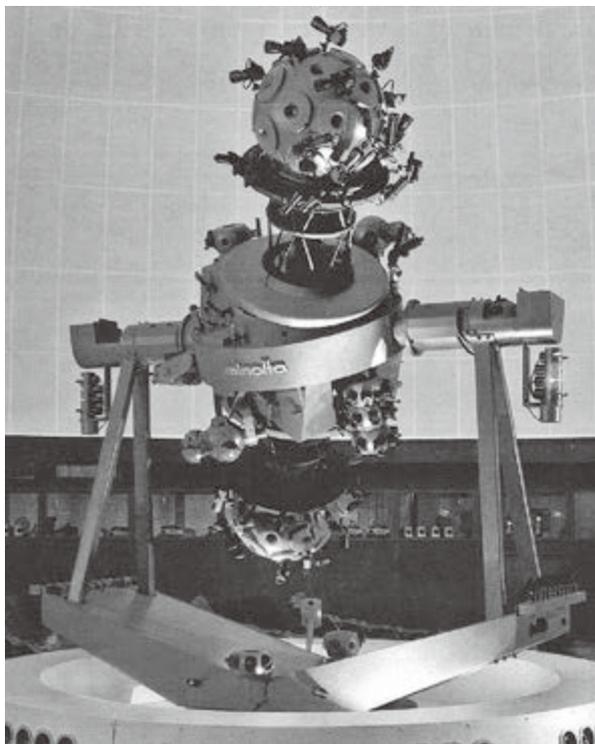


図 6.3.2 大型プラネタリウム MS-15AT

### ミノルタ大型プラネタリウム MS-15AT の機能と性能

- ・恒星は約8,600個、星雲・星団12個、ブライトスター20本、自動変光星3個、星座絵12個などで多彩な演出が可能。
- ・太陽系には光芒、日の出警告、月の中心差補正機構を装備、さらに惑星光度自動変化装置や月の位相変化がある。
- ・座標系に赤道グリッドを装備、黄道・赤道ともそれぞれ単独投映可能。
- ・緯度変化には自動復帰装置が加わり、歳差運動は歳差警告付で、自動復帰装置もある。
- ・照明系では朝焼・夕焼が3色調方式、薄明とともに自動位置変化装置付。

### 《 MS-18AT 》

1978年発売のMS-18ATは、ミノルタ50年の光学技術が生んだ大型プラネタリウムMS-15をベースに、さらに明るく、さらに充実した、壮大な宇宙ドラマを演出するスペースシアター向けの新鋭機(図6.3.3)。

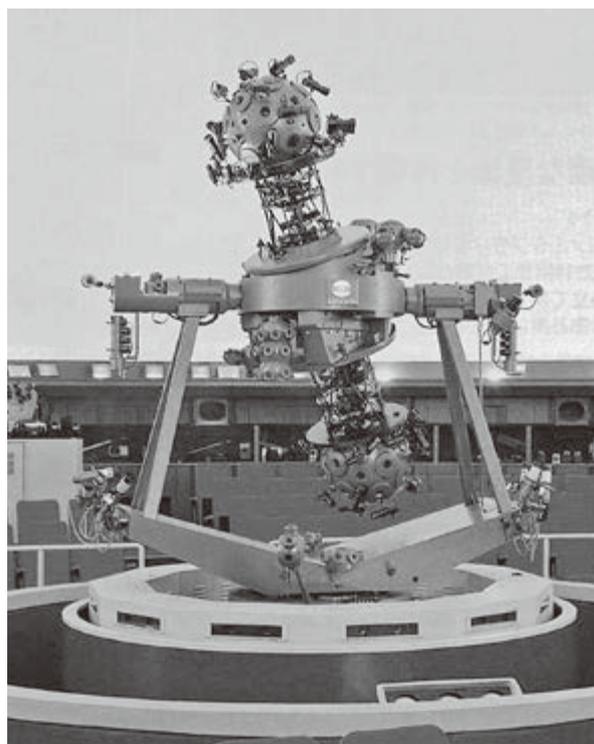


図 6.3.3 大型プラネタリウム MS-18AT

### ミノルタ大型プラネタリウム MS-18AT の機能と性能

- ・豊富な補助投映機群の映像と、ドームをゆるがす立体音響と組み合わせて、壮大な宇宙のドラマを演出。
- ・複雑な操作は、マイコン制御のユニバーサル全自動演出装置で、思いのままに誰でも簡単に実現可能。

### 《 GMII-AT 》

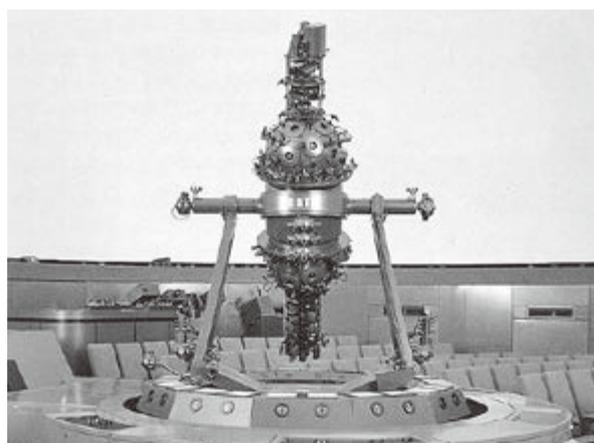


図 6.3.4 準大型プラネタリウム GMII-AT

1959年の国連総会で、児童の権利に関する宣言が採択される。その20周年を記念して、1979年を「国際児童年」とする決議が1976年の国連総会で採択された。その趣旨は、「児童は、将来に向けた社会の財産であるという、主義、主張、国境を越えた真理を踏まえ、ユニセフを中心として、世界中の国々は児童の福

社向上について関心を高める活動を推進し、また同時に、児童に関する諸施設の充実を図る。」というものだった。

そこで、五藤光学が、国際児童年に向けて発売したプラネタリウムが GM-II である (図 6.3.4)。

GM-II 型は、準大型機としてすべての機能を装備しており、大都市の科学館や自然の家などに最適

GM-II には、S 型、T 型、AT 型と 3 種類があり、

- ・ S 型：架台部が固定型で、方位は常に一定。

(標準仕様)

- ・ T 型：架台部が回転するシステムで、方位も風景 (スカイライン) も一緒に回転し、種々のおもしろい表現が可能。

(標準仕様にターンテーブル機構が付加されたもの)

- ・ AT 型：T 型の型式に自動演出装置を組み入れたもので、自動の中断、再生機能を備えており、自動と手動を組み合わせた新しい演出を可能にした。

(標準仕様にターンテーブル機構と自動演出機構が付加されたもの)

となっている。

### GMII-AT の機能と性能

- ・ ドーム直径：14~18m、水平。
- ・ 恒星：自社製ヘキサ-75mm/F3.5 投映レンズ、恒星数 6.5 等星まで約 8,500 個、ブライトスター 20 本、星雲星団 9 本。
- ・ 惑星：水星・火星は三重円板機構。
- ・ 座標系：赤道、赤道グリッド、赤緯目盛 (OP)、黄道、子午線、歳差円、方位角、地平高度、極点、方位、中間方位 (OP)、天頂点、銀極、緯度指示。
- ・ 照明系：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮、黄道光 (OP)、架台照明。
- ・ 運動系：日周運動 2~30 分/日。年周運動 2~30 分/年。緯度運動 2~30 分/周。歳差運動 2~30 分/周。架台回転 1~15 分/周。昇降装置 油圧。
- ・ 自動演出装置：プログラムの入出力に PC98 採用。

### 《 GE-II 》

GE-II 型は、GS 型と同様、ちょうど 1 クラス分の人数に対応。恒星のレンズ投映機としては最小で、天球の座標線もこのクラスでは世界で唯一。鮮明なレン

ズにより投映される。スカイライン投映機や各種の補助投映機の装備も可能 (図 6.3.5)。

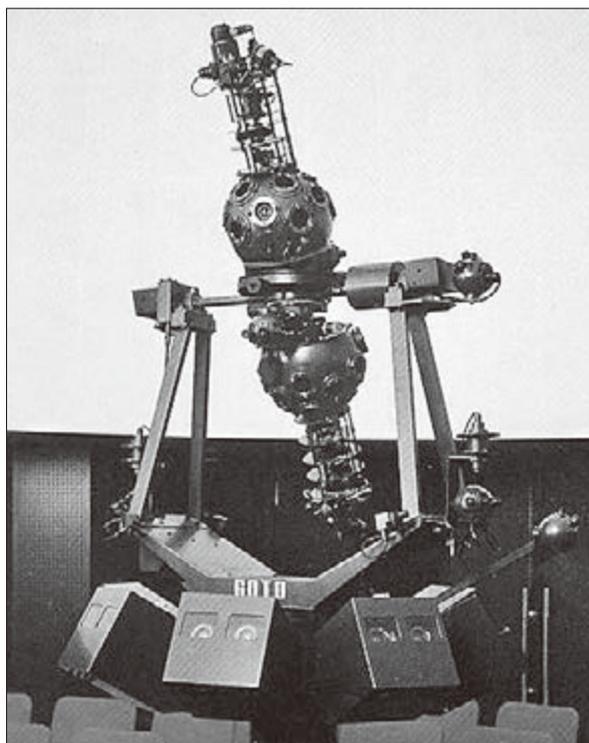


図 6.3.5 小プラネタリウム GEII-T

### GE-II の機能と性能

- ・ ドーム直径：6~6.5m、水平。
- ・ 恒星：自社製トミノン 26mm 投映レンズ、恒星数 5.0 等星まで約 2,800 個。
- ・ 惑星：太陽・月・惑星 各 1 本。
- ・ 座標系：赤道、黄道、子午線、歳差円、極点、方位、方位角 (OP)、地平高度 (OP)。
- ・ 照明系：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮。
- ・ 運動系：日周運動 3~12 分/日。年周運動 3 分/年。緯度運動 3~12 分/周。歳差運動 3~12 分/周。架台回転 2 分/周。

1980 年に発売された機種で、ターンテーブル (回転架台) の付いた GSII-T もある。

### 《 GS 》

GS は、学習用として開発された本格的なプラネタリウムで、小型ながら主要機能はすべて装備。このクラスでは唯一、自動演出機能が装備されている。補助投映機とのマッチングもよく、数十台の投映機と連動した演出が可能 (図 6.3.6)。GS は、1980 年に発売された機種で、GS-T と GS-AT がある。

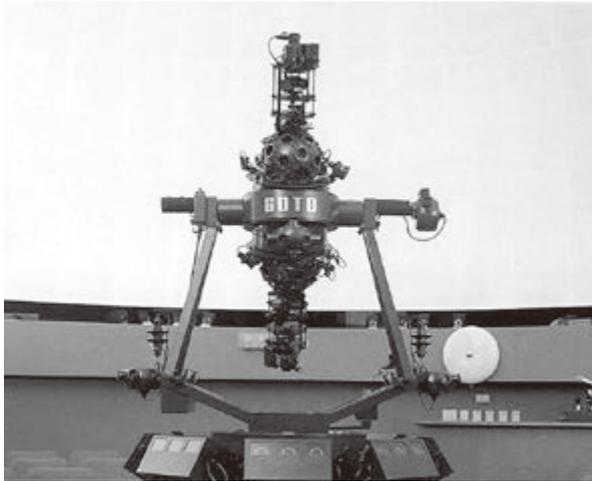


図 6.3.6 小型プラネタリウム GS

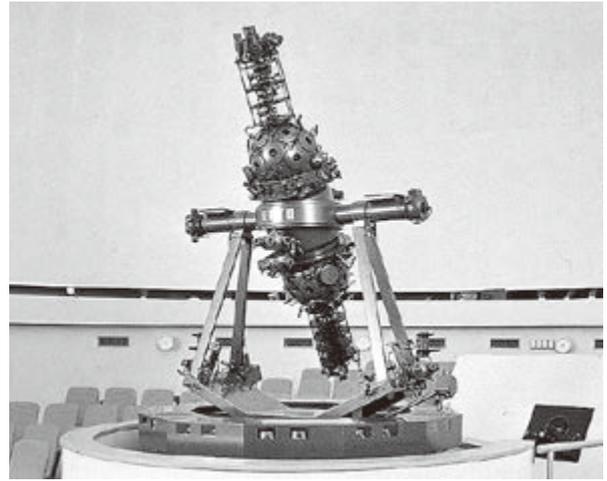


図 6.3.7 小型プラネタリウム GX-AT

### GS の機能と性能

- ・ドーム直径：7.5～8.5m、水平。
- ・恒星：自社製トミノン 26mm 投映レンズ、恒星数 5.75 等星まで約 3,500 個、ブライスター7 本、星雲星団 4 本 (OP)。
- ・惑星：太陽 2 本、月・惑星 各 1 本。
- ・座標系：赤道、黄道、子午線、歳差円、極点、方位、方位角、地平高度、赤緯目盛 (OP)。
- ・照明系：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮。
- ・運動系：日周運動 3～12 分/日。  
年周運動 3～12 分/年。  
緯度運動 3～12 分/周。  
歳差運動 3～12 分/周。  
架台回転 1～10 分/周。
- ・自動演出装置：プログラムの入出力に PC98 採用。

### 《 GX-AT 》

1980 年に発売された GX は、プラネタリウムの機能をすべて装備、教育センターなどに最適 (図 6.3.7)。

### GX の機能と性能

- ・ドーム直径：9～13m、水平。
- ・恒星：自社製ヘキサ75mm/F3.5 投映レンズ、恒星数 6.25 等星まで約 6,500 個、ブライスター17 本、星雲星団 8 本。
- ・惑星：月以外は 2 本投映。
- ・座標系：赤道、黄道、子午線、歳差円、方位角、地平高度、赤緯目盛 (OP)、極点、方位、中間方位 (OP)、天頂点、緯度指示 (OP)。
- ・照明系：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮。

- ・運動系：日周運動 2～20 分/日。  
年周運動 2～20 分/年。  
緯度運動 2～20 分/周。  
歳差運動 2～20 分/周。  
架台回転 1～10 分/周。
- ・自動演出装置：プログラムの入出力に PC98 採用。

### 《 GN 》

1981 年、これまで培ってきた JHS や G シリーズの技術を応用して、本体の小型高機能化と惑星棚の小型高性能化を実現した GN-AT を開発した (図 6.3.8)。

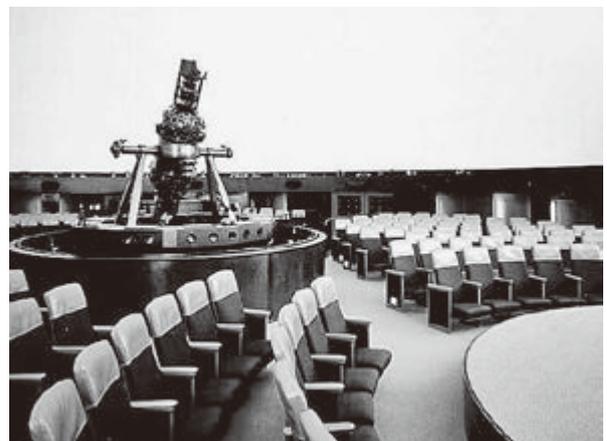


図 6.3.8 大型プラネタリウム GN-AT

### GN-AT 型の機能と性能

- ・ドーム直径：18m 水平、一方向 250 席。
- ・恒星：自社製ヘキサ75mm/F3.5 投映レンズ、恒星数 6.5 等星まで約 9,000 個、ブライスター13 本、星雲星団 1 組。
- ・惑星：水星・火星は三重円板機構。
- ・座標系：赤道、黄道、子午線、歳差円、方位角、地平高度、極点、方位、天頂点。

- ・照 明 系：昼光、青光、朝焼・夕焼、薄明・薄暮、  
架台照明。
- ・運 動 系：日周運動 20 秒～停止／日。  
年周運動 20 秒～停止／年。  
緯度運動 20 秒～停止／周。  
歳差運動 20 秒～停止／周。  
架台回転 20 秒～停止／周。  
昇降装置 油圧。
- ・自動演出装置：プログラムの入出力に PC98 を採用。

#### 《 GL-AT 》

国産プラネタリウムの黎明期は、天文機器ということで、学校を引退した理科の先生などが、ポインター（矢印形の指示投映機）で星を指しながら、マイクを片手に生で解説していて、これを当時は「プラ弁」と呼んでいた。その後、子供たちに楽しく学んでもらおうと、次第にスライド投映機を多用するようになり、プラ弁でプラネタリウムを操作するのが難しくなってきた。それと同時に、誰でも簡単に操作できるようにと、プラネタリウムの自動演出化が叫ばれるようになった。そこで、1970 年代の末には、各社が演出プログラム自動化を完了し、投映式プラネタリウムは成熟して安定期に入った。

そこで、プラネタリウムの技術者たちは、次世代のプラネタリウムとして何か革新的なアイデアはないかと模索していた。



図 6.3.9 大型プラネタリウム GL-AT

# 7 | 宇宙型プラネタリウムの開発

## 7.1 GSS-1 型開発の経緯

1981年の初夏の頃、五藤光学の西尾健次専務から電話があり、「宇宙型プラネタリウムを開発することになったから帰って来い」ということだった。

これまでのプラネタリウムは、惑星運動を地球軌道と惑星軌道を組み合わせたモデルを作って再現していたので、地球上から見た惑星の運動しか再現できなかった。これに対して、宇宙型のプラネタリウムは、各惑星をコンピュータで演算制御し、太陽系近傍のどこから見た惑星の運動でも再現できるようにしたものである。

筆者は、1973年から宮崎交通がJR 南宮崎駅前に建設したショッピングセンター「宮交シティ」の中にある、宇宙ミュージアムのチーフ・ディレクターとしてプラネタリウムの運営に携わっていた。そこで、年に一度、関東近郊で行われる日本プラネタリウム研究会に出席する度に、西尾専務に、「太陽や月、惑星の位置をコンピュータで計算してXY制御すれば、地上から眺めた星空だけでなく、宇宙空間のどこから眺めた星空でも自由に再現できるようになり、演出の幅も広がるはずだ、是非やりましょう。」と言ってきたからだった。

そこで、なるべく早く帰ることにし、月や惑星の正確な位置計算ができるように、アメリカのワシントンにある政府系印刷局から出版されているアストロノミカル・ペーパー（1898年）を日本水路協会からコピーしてもらい五藤光学に送ってもらうことにした。

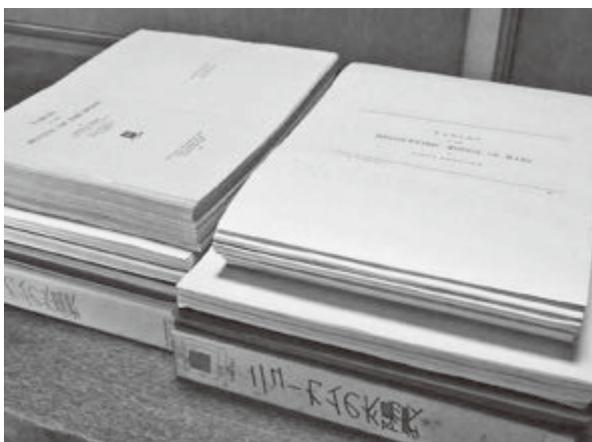


図 7.1.1 アストロノミカル・ペーパーのコピーの山

そして、1981年の9月に五藤光学に帰り、世界で初めての宇宙型プラネタリウムを開発するYプロ

ジェクトに加わった。ここで、宇宙型プラネタリウムという話になった経緯は、つぎのようなことだという。

1980年代に入ると、世の中ではパソコンが使われ始め、それが身近なものになるにつれて、プラネタリウムも変革が迫られて来た。既にアメリカでは、スピッツ社 (Spitz Inc.) の恒星と惑星を分離したプラネタリウムや、エバンス・アンド・サザランド社 (Evans & Sutherland Computer Corporation) のデジタル・プラネタリウムなどが未来型のプラネタリウムとして話題を提供し始めていた。そこで、五藤光学も世界の技術動向に同期した、最も革新的で実用的な時代にマッチしたプラネタリウムを開発する必要に迫られた。

ちょうどその頃、ある地方都市で開催される博覧会に、最新型のプラネタリウムを設置しようという動きがあり、当時技術部にいた前田恭二は、世界のどこにもないプラネタリウムとして、

- ①ドーム直径25mの世界最大級のプラネタリウム
- ②前方に30°傾斜したドームスクリーン
- ③前方のスクリーンを跳ねあげると舞台となる
- ④プラネタリウムとオムニマックスを併設

というような宇宙劇場を考えた。

提案用の図面を作成していた営業担当の鈴木雅晴は、中央のプラネタリウムはどうしましょうかと訊ねたところ、前田はとりあえずGM-18を入れておき、後で考えようと返答した。その後、西尾はそこに宇宙型プラネタリウムを入れることを考え、その開発を決定したのだということだった。

当時、アメリカのカリフォルニア州サンディエゴ (San Diego) のルーベン・フリート宇宙劇場 (Ruben H. Fleet Space Theater) は、前方に25°傾斜したドームスクリーンで、中央にはスピッツ社が開発したプラネタリウムのSTS (Space Transit System) が設置され、また、その後方にはカナダのアイマックス社 (IMAX Coporation) が開発した70mm、15パーフォーレーション (フィルムの両脇に開いているコマ送り用の穴) のドーム映像オムニマックス (OMNIMAX) が設置されていた。ところが、このスピッツ社のSTSは、まだ実用には不十分だったようで、惑星システムが最後まで稼働せず、五藤光学が宇宙型プラネタリウムの開発を決めた頃には、撤去されて地下の倉庫に積まれていたそうである。

従って、この博覧会にこのプラネタリウムが設置さ

れば、世界初の宇宙型プラネタリウムとなるはずだった。ところが、ある事情によりこの商談は途中で中断を余儀なくされた。

従って、鈴木が苦勞して作成した提案用の図面もお蔵入りかと思われた。ところが、1981年に、横浜市が世界最大規模、世界最新をテーマにしたプラネタリウムの計画を発表した。そして、鈴木が横浜市の依頼を受けた総合プロデューサーの目に触れ、さらに五藤隆一郎社長の営業力もあって、五藤光学がこの大型プロジェクトを受注することになったのである。

こうして、Yプロジェクトが発足し、最初プロジェクトリーダーは技術部長の小杉正夫が担当したが、その後、小杉が病気で退社を余儀なくされると、その後を前田恭二が引き継いだ。横浜との窓口は営業の鈴木雅晴、機械設計が高橋由昭、電気設計を野々垣和彦、演算制御ソフトの開発を筆者が当ることになった。

しかし、宇宙型プラネタリウムの開発には、越えなければならない難問がいくつかあった。1つは、一旦地球を離れて宇宙に飛び出せば、星空の回転は千差万別である。例えば、天王星の上に立てば、星空は「へびつかい座のη星」を中心に回転するように見え、また、ハレー彗星に乗って眺めれば、星空は「こぐま座のγ星」を中心に回るように見える。従って、宇宙型のプラネタリウムでは、任意の星を中心にして自由に回転できるようにしなければならないのである。そこで、これを「仮想軸運動」と呼ぶようになった。

もう1つは、各惑星の運動で、これは宇宙空間のどこから見るかによって大きく変わる。例えば、太陽系の真上から眺めれば、各惑星は太陽を一つの焦点として、楕円運動するように見える。また、太陽系の真横から見れば、各惑星は太陽を中心にして左右に往復運動するように見える。従って、宇宙型プラネタリウムでは、特定の軌道模型を作って機械的に運動を再現することはできない。どのような運動にでも対応できるように、位置の移動と像の向きを自由に変えられるようにしなければならないのである。

### 7.1.1 仮想(自由)軸運動

仮想軸運動については、西尾がある大学の研究室に解析を依頼し、コンピューターグラフィックスと数学の教授達がこの難門に取り組んでいた。その解析結果を見ると、あるところにくると回転できなくなるという現象が起こり、何回やってもうまく行かないということだった。そこで、この解析も担当することになる。

プラネタリウムでは、架台回転軸の上に直交するように緯度軸が取付けられており、その上に直交するよ

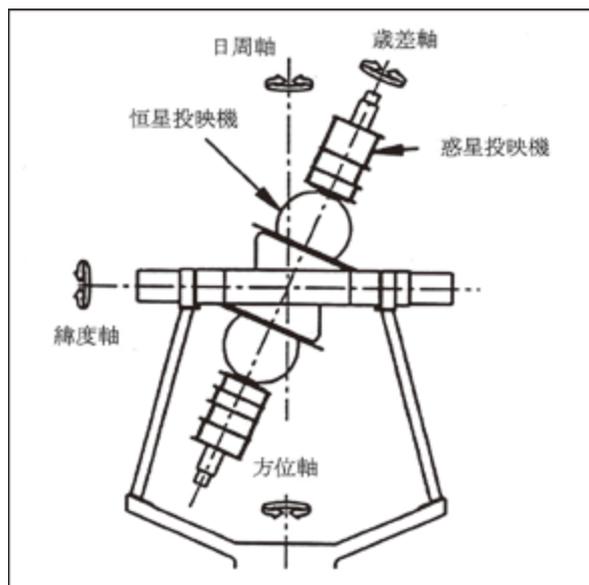


図 7.1.2 プラネタリウムの4つの回転軸

うに日周軸が取付けられ、さらにその上に23° 27'の角度をもって歳差軸が取付けられている。しかも、これら4つの軸は、ちょうどドームの中心で交わるように構成されていて、星々を投射する恒星投射機は、歳差軸上に取付けられている。

従って、架台を回すと、緯度軸、日周軸それに歳差軸が架台軸のまわりに回転する。また、緯度を回すと、架台は回らないが、日周軸と歳差軸が緯度軸のまわりに回転する。日周を回すと架台と緯度は回らないが、歳差軸が日周軸のまわりに回転する。しかし、歳差を回しても架台と緯度軸、日周軸は回らない。

プラネタリウムの各軸が、ドームに対して図 7.1.3 のようになっているものとする。

今、ドームの任意の1点Fを中心にして、星空を

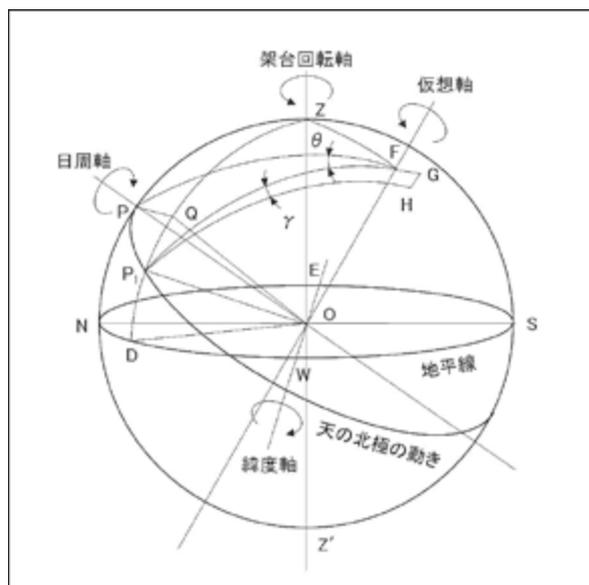


図 7.1.3 仮想軸運動の原理

ドームの外側から見て、時計と反対方向に等速度で回転させることを考える。その時、天の北極Pは、P1、Pnと動いて行くことが図7.1.3から容易に想像できる。従って、点Fを中心にして星空を回転させるには、Fを動かさずに、天の北極PがP1、Pnと動いて行くように、各軸を回転させればよいことが分かる。

そこで、まず、架台を $\angle NOD$ だけ回すと、天の北極Pは地平線に平行な小円弧を描いてQに移るが、点Fもまた地平線に平行な小円弧を描いてG点に移動する。つぎに、緯度を $\angle QOP1$ だけP1の方に回すと、QはZDの大円上をP1まで動くが、点GもまたそれにともなってHに移動する。このように、架台と緯度の2軸だけを回転させて天の北極PをP1まで移動させただけでは、星空の回転中心Fは、G、Hと動いてしまう。しかし、図7.1.3からも分かるように、 $PF=P1F=P1H$ （点Fの北極距離）であるから、日周を $\angle FP1H$ 即ち $\gamma$ だけ矢印の方向に回せば、HをFに戻すことができる。従って、日周、緯度、架台の各軸を、上記のように同時に回せば、星空を点Fのまわりに回転させることができる。これが仮想軸運動の基本的な原理である。

しかし、日周、緯度、架台回転の3つの軸だけでは、ドーム上の任意の星を中心にして星空を回転させることはできない。

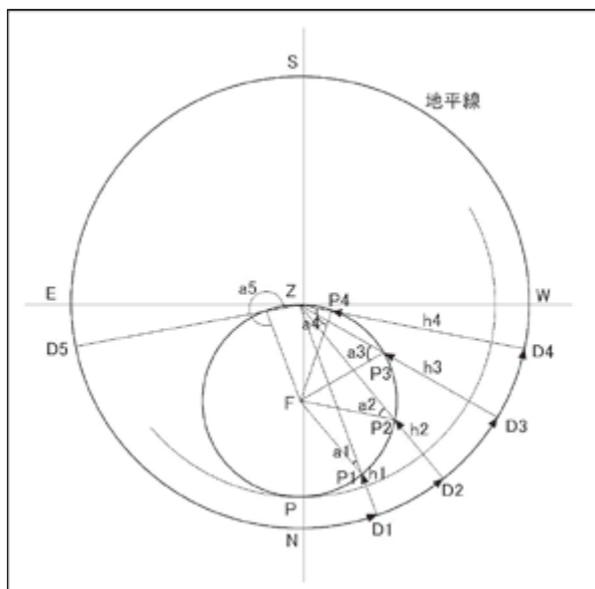


図 7.1.4 ドームを真上から見た図

図7.1.4は、ドームを真上から見た図である。従って、円の中心Zが天頂で、上が南(S)、下が北(N)、左が東(E)で右が西(W)になる。図7.1.4中、Pを天の北極とし、星空の回転の中心Fがちょうど天頂と天の北極の間にあるものとする。

従って、架台をNからD1、D2、D3、D4と回転し、緯度を $h1, h2-h1, h3-h2, h4-h3$ 、日周を $\angle a1, \angle a2-\angle a1, \angle a3-\angle a2, \angle a4-\angle a3$ と回転すればよいわけである。しかし、天の北極がP4からP5に移る時に、天頂と重なるので、架台が $180^\circ$ 以上、また、日周も $\angle a4 \approx 90^\circ, \angle a5 \approx 270^\circ$ であるから、 $\angle a5 - \angle a4 \approx 180^\circ$ 回らなければならない。

実際には、天の北極Pの回転をもっと細かにとって行くので、天の北極が天頂と重なる前後では、架台と日周はほとんど瞬間的に $180^\circ$ 回転しなければならない。このようなことは、計算ではできても、機械的には不可能である。

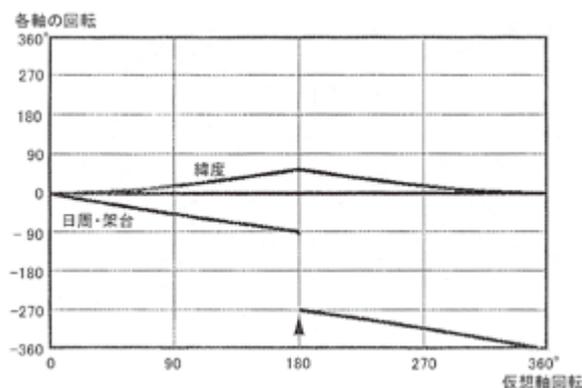


図 7.1.5 特異点を通る時の各軸の回転角

図7.1.5は、Pを北緯 $35^\circ$ の天の北極とし、星空の回転中心Fをちょうど天頂と天の北極の中間、つまり、方位角が $180^\circ$ で、地平高度が $62.5^\circ$ の時の各軸の回転角を示したものである。仮想軸回転が $180^\circ$ 進んだところで、日周と架台が $-90^\circ$ から $-270^\circ$ まで、瞬間的に $180^\circ$ 移動していることが分かる(矢印)。このようなところは、機械的には作動できないところで、「特異点」または「デッドポイント」と呼んでいる。この特異点は、仮想軸運動によって移動する天の北極が、ちょうど天頂を通るようなところに星空の回転中心Fを選んだ時に起こる。つまり、点Fの天頂距離と北極距離が等しくなるところに存在する。従って、デッドポイントというよりは、「デッドライン」といった方が適切かも知れない。

ところで、星空の回転中心は、南北両方にあるので、デッドラインも直交する2本の大円として存在することになる。その様子を示したのが図7.1.6である。しかも、デッドラインは、緯度(日周軸の傾き)によってドーム上を移動するやっかいなものである。図7.1.6に網点で示した部分は、機械的に作動できない範囲で、その幅はモーターの性能によって変わる。

日周、緯度、架台回転の3軸によって自由軸運動を

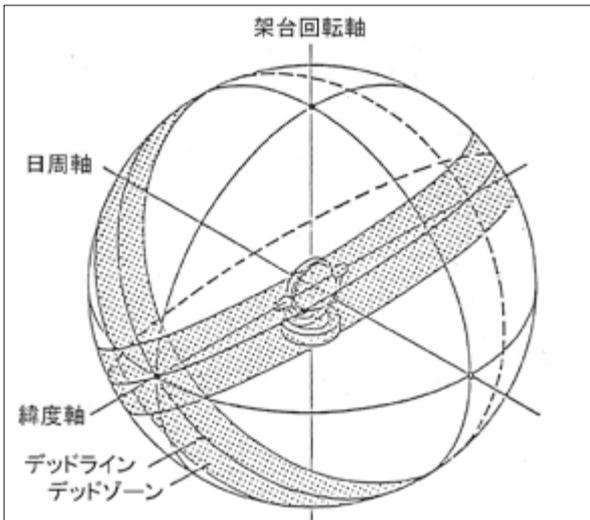


図 7.1.6 デッドラインとデッドゾーン

行った場合、今述べたようなデッドラインのあることが開発の当初から分かっていた。そこで、我々はもう一つの軸、つまり歳差軸を用いてそれらを回避する方法を考えたのである。そのために五藤光学の宇宙型プラネタリウムが、これまでのプラネタリウムから惑星棚を取っただけの恰好をしているのである。



図 7.1.7 宇宙型プラネタリウム GSS-1 型

3軸を制御して仮想軸運動を行った場合、日周軸が架台回転軸と重なった場合に、回転運動ができなくなることが分かった。そこで、歳差軸を用いて、日周軸が架台回転軸と重ならないように、日周軸を移動させてやろうというのである。これが4軸制御による仮想軸運動の基本的な考え方である。

図 7.1.8 は、図 7.1.4 と同じくドームを真上から見たものである。図 7.1.8 の中で、Z を天頂、P を日周軸、

S を北極星、Q を歳差軸とし、F を星空の回転中心とする。従って、最初は日周軸上に北極星があるところからスタートすることになる。

3軸制御の場合は、F のまわりに日周軸（天の北極）を回転させたが、4軸制御の場合は、北極星（天の北極ではない）と歳差軸（黄極点）を回転させると考える。従って、星空を F のまわりに  $r$  だけ回転させると、北極星 S と歳差軸 Q は、最終的にはそれぞれ S1 と Q1 にこなければならない。そこで、今、歳差軸を Q を中心にして  $rw$  だけ回転したと仮定する。その時、北極星 S と歳差軸 Q が、S1 と Q1 にくるようにするには、日周、緯度それぞれに架台をどのように回転させればよいかを考える。

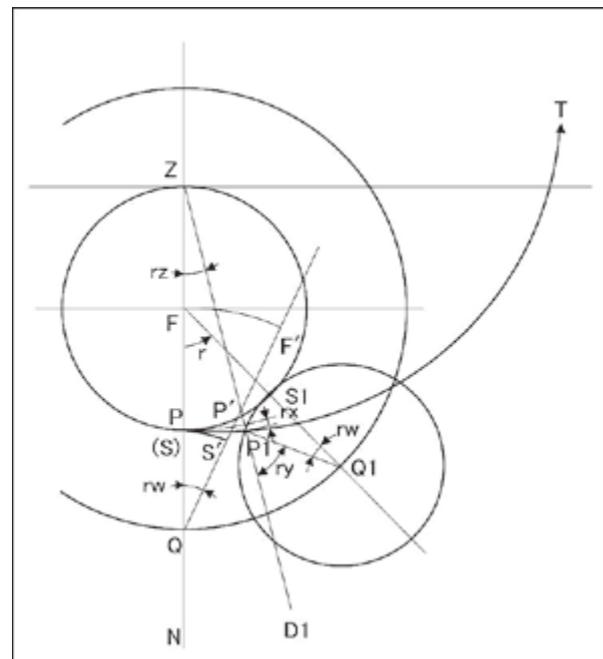


図 7.1.8 4軸制御による仮想軸運動

まず、歳差を Q を中心にして  $rw$  だけ回したのであるから、日周軸 P はそのまま、北極星 S だけが S' に移動する。ところで、 $\angle PQS'$  の関係は、つぎに歳差を回さないかぎり変わらないから、そのまま S1 と Q1 にあてはめると、Q1 を中心として、S1 から  $\angle rw$  だけ離れたところに日周軸がなければならない。そこで、この点を P1 とすると、これが F を中心として星空を  $\angle r$  だけ回転した時の、最終的な日周軸の位置となる。

つぎに、天頂 Z からこの P1 を通る線を引き、地平線と交わる点を D1 とする。ところが、はじめ天頂 Z と日周軸 P を結ぶ線（実は大円）上に歳差軸 Q があった。しかし、最終的には天頂 Z と日周軸 P1 を結ぶ線の上に歳差軸 Q1 はなく、 $\angle DIP1Q1 = \angle ry$  だけ離れて

いる。つまり、この量が日周の回転角度であり、また、 $\angle NZD1 = \angle rz$  が架台の回転角度なのである。

ところで、架台を  $\angle rz$  だけ回転させると、日周軸 P は P' に移動し、P1 とは一致しない。従って、この P' と P1 の差が緯度の回転角度であることが分かる。そこで、歳差、日周、緯度、架台回転の 4 軸を、今述べた量だけ同時に回転すれば、星空を点 F のまわりに回転させることができる。

しかも、図 7.1.9 からも分かるように、日周軸は P から P1、T と移動し、決して天頂（架台回転軸）と重なることはない。また、仮想軸回転角と各軸の回転角の関係を示したのが図 7.1.9 である。3 軸制御では回れなかったところでも、4 軸制御では無理なく回転できることが分かる。

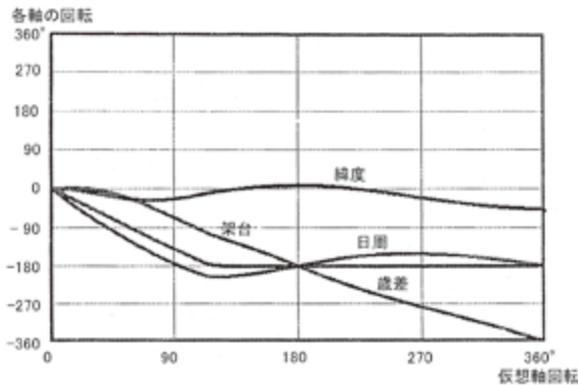


図 7.1.9 4 軸制御した時の各軸の回転角

### 7.1.2 惑星の演算制御

2010 年（平成 22 年）、1943 年（昭和 18 年）創刊以来、日本の天体暦として 67 年もの長きにわたり発行されてきた天体位置表が廃刊になった。筆者たちがいつも座右に置き、パイプルのように愛用してきたこの天体位置表は、内惑星の視赤経が 1/100s、視赤緯が 1/10" まで、外惑星の視赤経が 1/1000s、視赤緯が 1/100" までの、最も高い精度で掲げられていたものである。

ところが、信じられないかも知れないが、1979 年（昭和 54 年）までは、太陽・月・惑星の位置はグリニッジ天文台暦編局から提供された資料によって編集していた。そして、小惑星の日心直角座標以外の全表値が水路部の推算によって編集されるようになったのは、1980 年（昭和 55 年）からである。

それを、翌年の 1981 年に天体位置表と同じ資料を使って惑星位置の計算をして、プラネタリウムを制御しようというのであるから大変である。早速、会社の敷地内にあるクラブハウスに籠って、資料の翻訳からはじめた。



図 7.1.10 太陽表、水星表、金星表の翻訳

天体位置表に掲載されている月・太陽・惑星などの位置は、軌道要素を与えて一年間の毎日（あるいは数日おき）の位置について計算するのではない。特別に作られた運動表があって、その表から数日おきの日付けに対して計算し、それから補間法によって中間の日付けに対する位置を求めるのである。ここで、運動表というのは、先に述べたアストロノミカル・ペーパーに掲載されたニューカムやヒルなどの惑星表である。

ニューカムやヒルによって惑星表が書かれた当時（1890 年代）は、まだ、コンピュータもなかった時代で手計算が主であるから、太陽や惑星の表には計算を容易にするために膨大な表が付いていたのはそのためである。しかし、我々が宇宙型プラネタリウムの開発を始めた 1980 年代は、幸いコンピュータが使えたので、それぞれの表の原式から計算することにした。

早速、当時発売されたばかりのシャープ製のパソコン MZ-80K を使って木星の位置計算を行ってみた。ところが、パソコンの容量が少なく、木星の日心位置を計算するのが精一杯で、それを、地球（太陽）の位置を計算して、木星の日心位置を地球から見た位置に引き戻さなければならないのであるが、それができなかったのである。

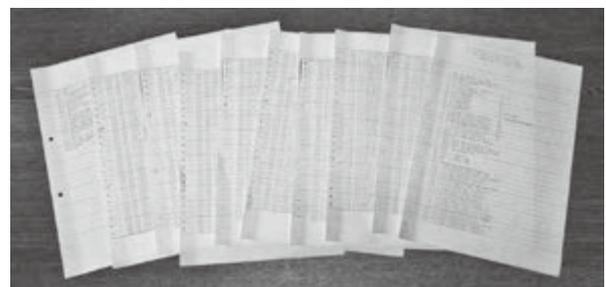


図 7.1.11 木星の日心位置計算プログラム

これでは、とても全ての惑星の位置を計算してプラネタリウムを制御することはできない。幸い、プラネタリウムの場合、精密な惑星の位置観測をするわけではないので、もう少し精度をおとしたものでも十分で

ある。そこで略算式を用いることにした。すると、実にタイミング良く、海上保安庁水路部から毎年発行されている「天測暦」の1979年版に惑星位置の略算式（この略算式にはミスのあることが分かり、1982年版の天測暦に訂正版が掲載された）が、1980年版に月位置の略算式が掲載された。この略算式は、1975年から約20年間にわたって、 $\pm 0.1'$ の精度で計算できるというものである。

位置精度については申し分ないが、残念ながら適用年数がいかにも短かすぎる。プラネタリウムでは、過去に行ったり未来に行ったりするので、長期間使用できるものでなければならないのである。



図 7.1.12 海上保安庁水路発行の「天測暦」<sup>(1)</sup>

そこで、 $1'$ の精度で、現在（1979年）から300年間通用するアストロフィジカル・ジャーナルの1979年11月発行の付録シリーズに掲載された、ワシントンの海軍天文台のT.C. VANFLANDERNとK.F. PULKKINENによる略算式を採用することにした。

こうして、惑星投映機は、プラネタリウム本体の恒星投映機から分離され、各惑星投映筒にX軸とY軸および像回転軸を設けて、それぞれの軸を演算制御することによって、宇宙空間の任意の位置から眺めた各

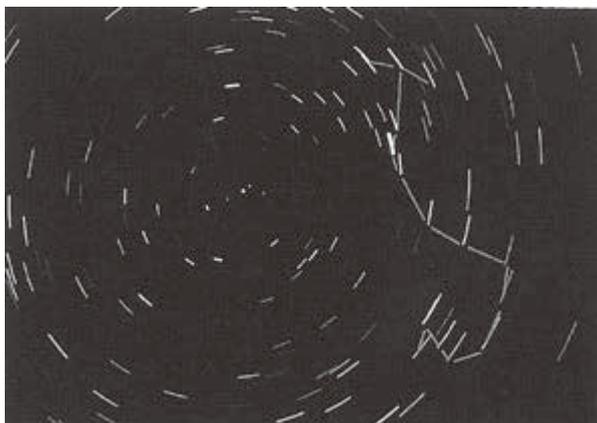


図 7.1.13 天王星上での日周運動

惑星の運動を再現することができたのである。

図 7.1.13 は、太陽系第7番目の惑星、天王星の表面に立って眺めた日周運動である。たまたま、さそり座が見られたので、分かり易いように星座の線をつないでみた。

つぎに、宇宙空間に飛び出したような臨場感をプラネタリウム館で出すにはどのようにすれば良いか、試行錯誤の結果、ドームスクリーンを前方に $30^\circ$ 傾けることにした。しかも、ドームを $165^\circ$ の欠球にして座席を持ち上げ、観客に浮遊感を持たせるようにした。

ところが、ドームスクリーンを傾斜させたために、恒星投映筒の重力シャッターが使えなくなってしまった。しかし、これは、恒星シャッターもX（回転）とY（開閉）の2軸制御することによって解決した。

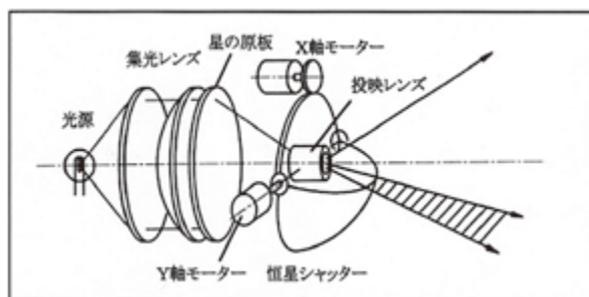


図 7.1.14 XY制御の恒星シャッターの模式図

このことは、思わぬ効果をもたらした。これまで、恒星の投映像を水平でカット（遮光）することしかできなかったものを、恒星が天頂から地平線に降るように現われたり、観客の後ろの方から前方に向かって現われたり、あるいはまた、床面まで全部恒星で埋め盡すようにしたりと、演出の効果を無限に広げることができたのである。

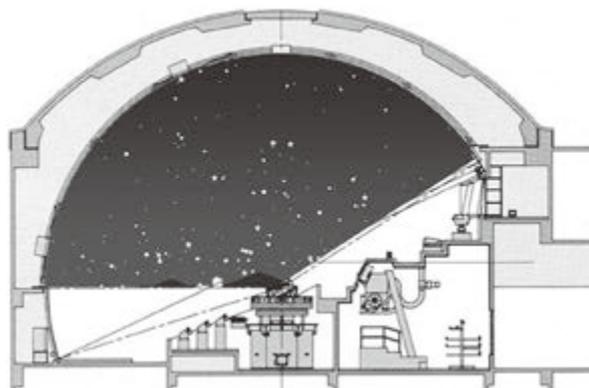


図 7.1.15 恒星シャッターの開閉モード

スカイライン投映機は、水平に設置するので前方のみ投映されるが、方位（架台）回転を行っても、ドームの傾斜に沿って斜めにカット（遮光）されるように工夫されたシャッターが取り付けられた。

## Newcomb と Hill と惑星表

筆者等がプラネタリウムの開発に従事していた1981年頃は、太陽や惑星の1年分の位置を載せた、海上保安庁発行の『天体位置表』を常に座右に置いていた（ただし、2010年版が最後の刊行となった）。

ところで、惑星の正確な位置推算を行うには、「摂動」を考慮しなければならない。2つの天体が互いに引力によって公転している場合、その公転軌道はニュートンが証明したように円錐軌道となる。しかし、第3の天体があったり、軌道上に抵抗物質があったり、天体が球形でなかったりすると軌道が円錐曲線にならず、形が変わったり公転周期が変わったりする。このような現象を「摂動」という。

惑星の場合、太陽の引力が圧倒的に強いので、太陽以外の引力を省略してケプラーの楕円運動を解いて第一近似解とする。この第一近似解を用いて各惑星の位置を計算すると、相互におよぼす引力の強さが計算できるから、それによって惑星の運動に生ずる変化を求め、これを第二近似解とする。つぎに第二近似解をもとに同様な方法を繰り返して第三近似解を求める、というようにして十分な精度が得られるまでこの近似解を進める。このようにして摂動の状態を研究することを天体力学では「一般摂動論」という（ただし、これは離心率と軌道傾角が小さい惑星の場合にだけ成り立つもので、彗星のような場合は「特殊摂動論」によらなければならない）。

従って、惑星の位置推算はこの一般摂動論を用いて行うことになるが、摂動は、長年（永年）摂動、長周期摂動、短周期摂動の3つに分類されるが、さらにその性質から2つに分けられる。1つは、軌道の形や位置がゆっくり変化するもので、もう1つは、軌道上の惑星の運動が周期的に変化するものである。

そこで、先ず軌道の形や位置に影響する平均軌道要素（歳差、長年摂動と長周期摂動が含まれる）を計算する。長年摂動は三角関数を時間のべきで展開したものと考え、形式的に惑星運動の解を時間の一次式を引数に持つ三角関数の級数に展開する。しかし、このような三角関数の級数は、必ずしも収斂しない。ところが、有限個の項をとるとある程度の精密さで天体の位置を表すことができるので、ポアンカレ（Henri Poincaré）が半収斂と呼んだように、実用的には十分である。そこで、例えば、水星の離心率  $e$  や軌道傾斜  $i$  などは、

$$e = 42410.973'' + 4.221'' - 0.0061'' T^2 = 0.20561421 + 0.00002046 T - 0.000000030 T^2$$

$$i = 7^\circ 0' 10.37'' + 6.699'' T - 0.066'' T^2$$

のように表される。

つぎに、軌道上の惑星の運動に影響する短周期摂動の量は、短周期項の和として表される。例えば、つぎのような形の単項式に変形され、

$$s \cos(jg' + ig - K)$$

摂動を起こす惑星ごとに、 $j$ 、 $i$ 、 $s$ 、 $K$ の値が表にされている。

しかし、コンピュータなどない時代であるから、これらを計算するのはとても大変である。そこで、各惑星表にはそれぞれ平均軌道要素と短周期摂動を計算するための計算表が掲載されている。

このようにして、19世紀末にアメリカ編暦局の天文学者 サイモン・ニューカム（Simon Newcomb）とジョージ・ウィリアム・ヒル（George William Hill）が惑星の摂動表を作った。その時、ニューカムは、比較的簡単な内惑星（水星、金星、太陽、火星）を担当し、部下のヒルは難しい外惑星（木星、土星）を担当した。外惑星の場合は、展開式の項数を増やしてもなかなか誤差が改善されないという太陽系中の難物だった。ヒルは、それでも何とか完成しニューカムに提出すると、その出版を待たずに編暦局を辞めて田舎に帰り農夫になったという。また、ヒルが難解な木星と土星の運動理論のために勢力を注ぎ、月の運動理論の研究ができなかったと嘆いていたこともあって、憶測が憶測を呼んでニューカムとの間に確執があったように言われることもあったようだ。しかし、ヒルは学位がないということから編暦局では待遇があまり良くなかったらしいが、ニューカムはヒルの給料を上げるために大変苦勞したと書き残している。

それから、大型のプラネタリウム施設の場合、ドーム後方のリア映写室には、数十台の補助投映機が設置されるのが普通で、横浜市の場合も80台以上の補助投映機が設置された。

制御用のコンピュータは、DEC (Digital Equipment Corporation) のメモリ容量が248K バイトのPDP-11/23という16ビットのミニコンピュータである。しかし、天文計算をやりながら制御するには性能不足で、止む無くその約2倍の価格のアレープロセッサを追加しなければならなかった。

恒星投映機や惑星投映機、さらには恒星シャッターまで演算制御し、1つの命令を出してからそれぞれのモーターを回し、ランプを点灯するなど一連の動作が終り、フィードバックが返ってくるまでの制御周期が大幅に長くなったのである。リア映写室には80台もの補助投映機が設置されたので、150以上の回転軸を演算制御し、260近いランプのON/OFFを制御し、さらにコンソールのいろいろな表示灯やスイッチ類の管理という仕事を一台のコンピュータが全て行うことになる。

そのため、制御周期が1.4秒もかかることになってしまった。そこで、使用頻度の高い地上モードのみリアルタイムで制御し、複雑な宇宙モードなどは、データベースで制御せざるを得なかった。

こうして、世界初の宇宙型プラネタリウム「GSS-I」は、横浜こども科学館に設置され、1984年5月5日のこどもの日にオープンした。

ここで、惑星を分離しコンピュータ制御にすることによって、惑星だけではなくこれまで補助投映機でしか表現できなかったいろいろな運動の再現が可能となった。ただ、太陽と月の投映機を除く、水星から土星までの6個の投映機だけでは、北斗七星やオリオン座等を表現できないので、もう1個の投映機を追加して7個とした。そうすることによって、春の北斗七星、夏のはくちょう座、秋のペガサス座、冬のオリオン座の各星座の固有運動や、他の星から眺めたときの星座の形なども再現できるようにしたのである。

図7.1.16は、現在から10万年後まで時間を進めたときに見られる北斗七星の各星の動きである。ひしゃくの形が次第に崩れて行くのが分かる。

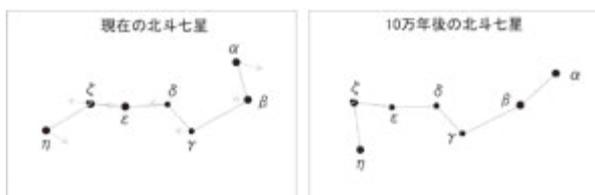


図 7.1.16 北斗七星の10万年間の固有運動

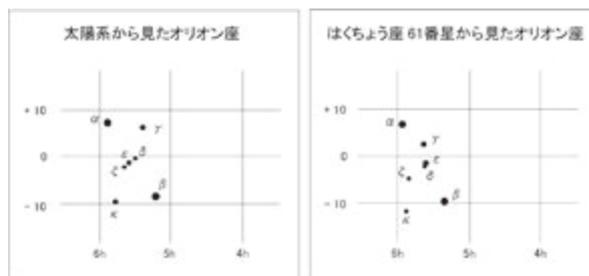


図 7.1.17 はくちょう座 61 番星から見たオリオン座

図7.1.17は、太陽系からはくちょう座の61番星に向かって旅行した時に、宇宙船の窓から見られるオリオン座の姿であるが、何の星座が分からなくなる。

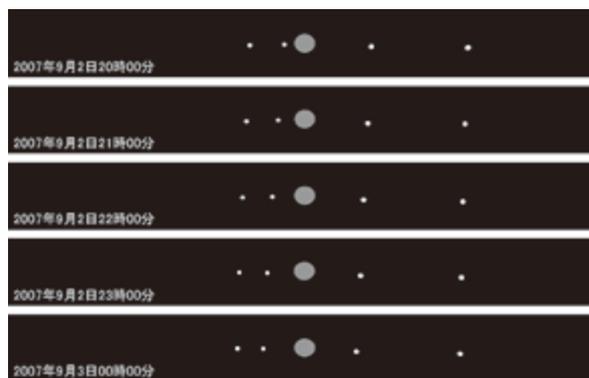


図 7.1.18 木星の4大衛星の運動

図7.1.18は、2007年9月2日の20時(JST=日本時)から4時間後の9月3日の0時までの、木星の4大(ガリレオ)衛星の動きを示したものである。その日その夜の位置をシュミレーションして見せられるのが最大の特徴といえる。



図 7.1.19 はくちょう座 61 番星 (右図の数字は西暦年)

図7.1.19は、先程オリオン座を眺めながら旅をしたはくちょう座61番星である。近づくと私たちの太陽系の2倍の大きさの連星であることが分かる。

図7.1.20は、惑星のプラス1投映機をハレー彗星に割り当てて、黄経60°黄緯+15°太陽から3天文単位はなれたところから眺めた、1985年10月21日から1986年4月30日までのハレー彗星の動きである。太陽のすぐ左にさそり座が見える。



図 7.1.20 ハレー彗星の動き

### <GSS- I型の機能と性能 >

ドーム直径：23m、30°傾斜。

恒星：光源 200V 1kW（メタルハライド）、自社製ガウスタイプ 105mm/F5.6、恒星数 7.4 等星まで約 25,000 個。

天の川：行灯式。

ブライトスター13本。

惑星：分離型、コンピュータによる演算制御。

座標系：赤道、黄道、子午線、歳差目盛、方位角、極点、方位、中間方位、緯度指示、天頂点。

照明系：昼光、青光、室内灯は見切線の後ろから照明。

運動系：日周運動 15 秒～停止/日。

年周運動 60 秒～停止/年。

緯度運動 15 秒～停止/周。

歳差運動 15 秒～停止/周。

架台回転 15 秒～停止/周。

仮想軸 60 秒～停止/周。

自動演出装置：PDP-11/23（DEC）アレープロセッサ。

### 7.1.3 その後の宇宙型プラネタリウム

#### (1) 2代目 GSS-II型

2代目の宇宙型プラネタリウム GSS-II型は、恒星投映機、惑星投映機、恒星シャッター等に、演算機能を持たせたマイコンボードを使用した分散処理を行い、制御周期を 0.1 秒まで縮めることに成功する。

この GSS-II型は、浦和市青少年宇宙科学館に納入され、1988 年 5 月にオープンした。

#### (2) 3代目 GSS-HELIOS

3代目の宇宙型プラネタリウム GSS-HELIOS は、制御用のコンピュータに EWS（Engineering Work Station）を用いることによって、制御周期 0.05 秒以

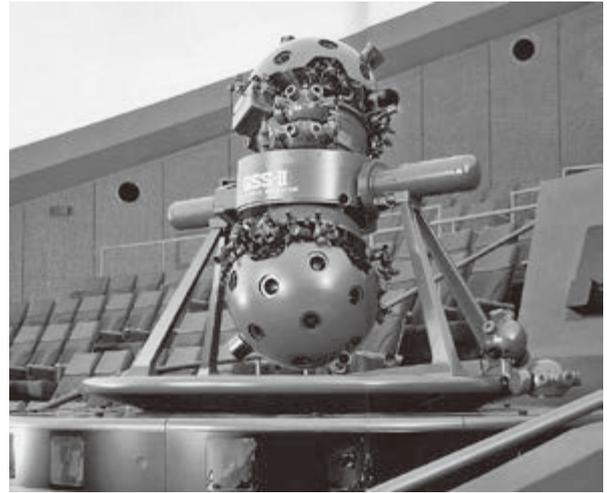


図 7.1.21 宇宙型プラネタリウム GSS-II型

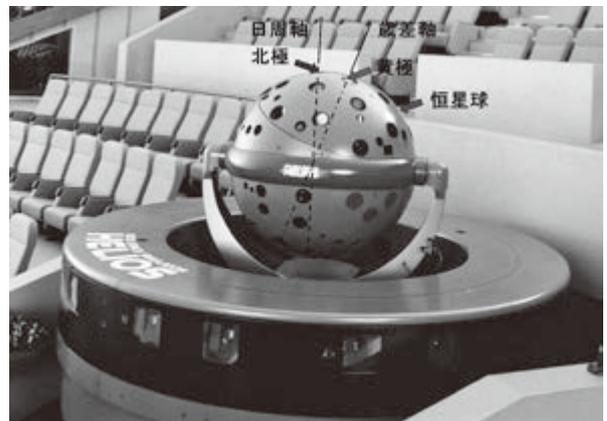


図 7.1.22 宇宙型プラネタリウム GSS-HELIOS

下を実現し、ようやく理想的な宇宙型プラネタリウムを実現した。

この GSS-HELIOS は、本体が球形なので、一見、日周、緯度、架台の 3 軸だけのように見えるが、実は歳差軸がありちゃんとした 4 軸である（図 7.1.22）。

図 7.1.23 を見ると分かるように、GSS-HELIOS の恒星投映機は、球の中央に電球があり、放射状に片側 16 個の恒星投映筒が取り付けられているわけではない。恒星投映筒は、球の黄極の方の寄せたように取り付けられており、投映筒 1 本ごとに 1 個の電球がついている（図 7.1.24）。このように無理をして球形にしたのは、高速で回転したときにイナーシャ（inertia）を受けないようにするためである。

天の川は、恒星原板の投映レンズ側に白色で濃度が 4 段階の網点でプリントされており、投映筒の内側に仕込まれている電球によって照らされた反射光として投映するようになっている。

図 7.1.25 は、GSS-HELIOS の南天のマスク No.20 の恒星原板で、左側の写真は手前から光を当てたもので、天の川の絵柄が 4 段階の網点でプリントされてい



図 7.1.23 GSS-HELIOS の恒星投射機内部

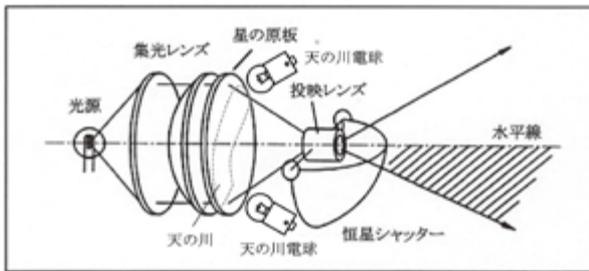


図 7.1.24 天の川の投射方式の模式図

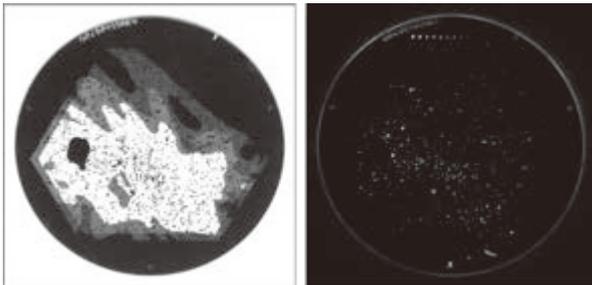


図 7.1.25 恒星原板と天の川の絵柄

る様子が分かる。右側の写真は裏側から光を当てたもので、恒星だけが見える。中央左側にあるのが南十字星である。

このGSS-HELIOSは、平成5(1993)年度の通産省グッドデザイン賞教育部門賞を受賞した。また、社長だった五藤隆一郎は、宇宙型プラネタリウム開発の成功により、平成5年に科学技術庁長官賞を、平成6



図 7.1.26 GSS-HELIOS のコンソール卓

年(1994)には黄綬褒章を受賞した。さらに、日本経済新聞社より「小さな世界トップ企業」に選ばれた。

このように、GSS-HELIOSはとても素晴らしい性能であり、宇宙型プラネタリウムの最高傑作とされている。因みに、このGSS-HELIOSの第1号機は、倉敷科学センターに納入され、1992年10月にオープンした。現在はその後継機が活躍している。

#### <GSS-HELIOSの機能と性能>

- ・ドーム直径：18～30m、水平 or 傾斜。
- ・恒星：自社製ガウス型 105mm/5.6、恒星数 7.4 等星まで約 25,000 個、ブライトスター13本。
- ・天の川：恒星原板に組み込み、単独調光可能。
- ・惑星：分離型、コンピュータによる演算制御。
- ・座標系：赤道、黄道、子午線、歳差目盛、方位角、極点、方位、中間方位、緯度指示、天頂点。
- ・照明系：日光、青光、室内灯などは見切線の後ろから照明。
- ・運動系：日周運動 15 秒～停止/日。  
年周運動 60 秒～停止/年。  
緯度運動 15 秒～停止/周。  
歳差運動 15 秒～停止/周。  
架台回転 15 秒～停止/周。  
仮想軸 60 秒～停止/周。
- ・自動演出装置：EWS。

その他、宇宙型プラネタリウムには、小型の1995年に開発されたGSS-URANUSと、超大型(適用ドーム径18～50m)の2000年に開発されたSUPER-HELIOSなどがある。SUPER-HELIOSは、超大型ドームに対応するため光源を200V 3,500Wのメタル



図 7.1.27 SUPER-HELIOS

ハライド片側1個にしたので、歳差軸がとれず3軸制御にせざるを得なかった。

#### 7.1.4 副産物 G1014si

それから、宇宙型ではないが、その技術を応用して作られた、「G1014si」というとてもユニークな地球型プラネタリウムがあるので紹介しておく。

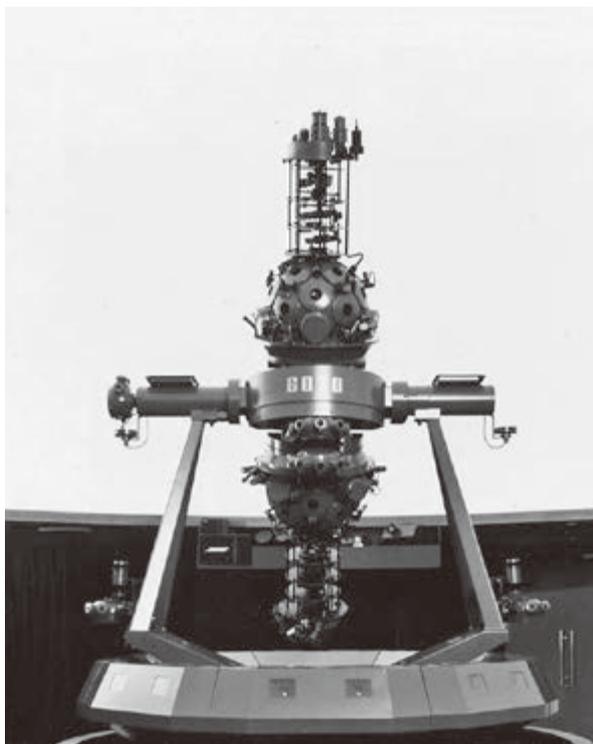


図 7.1.28 地球型プラネタリウム G1014si

##### <機種名>

G： 五藤光学製

1014： 適用ドーム径 10~14 m

si： super intelligent

##### <機能>

- ①日周運動のツマミを回すだけで、太陽が西の地平線に沈んで、夕焼けとなり、薄暮となり、月が輝き、惑星が見え始め、次第に空が暗くなると、恒星が瞬き出し、やがて降るような星空となる、といった時刻の変化が再現できるのである。
- ②緯度回転のツマミを回すと、自分の住んでいるところの緯度の景色がスカイラインから投映され、やがて赤道近くの緯度になると周りが南国の景色になり、南極の緯度に近づくと周りが南極の昭和基地の景色になるといったように地球上の場所の変化が再現される。
- ③歳差のツマミを回すと、周りの景色が現在から、過去の景色になったり、未来都市の景色になるといっ

た年代の変化が再現される。

このような機能を「連動調光」というが、それぞれの調光のタイミングは、実際に手動で操作してそれをデータにする倣い方式と、数値で直接入力して行うことによって設定する直接入力方式がある。ただし、スカイラインの映像のスライドは、あらかじめセットしておく必要がある。

##### <観客参加型の演出プログラム>

その他、演出プログラムの分岐という機能がある。例えば、宇宙旅行のプログラムなどで、地球を出発した宇宙船が、月に寄って観光してから火星に行くか、それとも直接火星に行くかを、観客のリクエストによって選択しながらプログラムを進行するといった機能である。

そこで、1回45分の演出プログラムを、5分ごとに5個の分岐を作っていくとすると、1本の演出プログラムを作っておけば、プラネタリウムを買い替えるまで演出プログラムを作る必要はないという夢のような機能が作り込まれている。そのために、惑星棚も高速で回転し、また、いろいろな年代に瞬時に飛べるようになっている。

ただし、このG1014siを作った1989年当時は、80枚のスライドをランダムアクセスできるプロジェクターはあったので映像の方は何とかあったが、残念ながら音声はまだアナログで再生する装置しかなく、試してみることができなかった。今ならば、デジタルの音響装置があるから実現できるかも知れない。

## 7.2 インフィニウム (INF) の開発

ミノルタで、つくばエキスポセンター向けに提案した器機の開発が始まった頃は、まだ名前がなかった。名前のない新型機を何と呼んでいたのかははっきりしない。まだ、宇宙型という名称も使っていなかった。

間もなく、開発を指揮していた山野井次長が、このプラネタリウムの名前を「ミノルタインテリジェントプラネタリウム」としよう、そして補助投映機は「インテリジェントプロジェクター」、さらにドームや音響、照明まで「インテリジェント〇〇」と言い出した。

そこで、プラネタリウム本体の略称をMIP、補助投映機をIPと呼び、特に本機は1985年開催の筑波博にちなんでMIP-85と呼んだ。その後、社内ではMIP-85とIPだけが生き残り後々まで使われた。

インフィニウムという名称は、開発も終盤になってから、ミノルタの該当部署によって決められたものである。

山野井次長のコストダウン企画書に、INF21の文字が現われた。21は、もうじき来る21世紀の21である。1985年3月にMIP-85をつくばエキスポセンターに納入。同年6月には豊田産業文化センターにINF21を納入し、翌86年3月には浜松科学館にもINF21納入した。そして同年7月にはラフォーレ琵琶湖にINF21Dを納入した。このように、対外的には全てインフィニウムだったが、社内では分けて呼んでいた(図7.2.1)。



図 7.2.1 つくばエキスポセンター納入のインフィニウム

21Dは、INF21をさらに改良し惑星のマルチ化(初め各投映機は決められた惑星に割り当てられているが、途中でその割り当てを変えることができる)を実現したもので、Dはデラックスの意味を表す。そのため、さかのぼって、豊田産業文化センターと浜松科学館のものを21Sと言った。Sは、スタンダードのSだそう。それ以降、1990年11月納入の東大阪児童文化スポーツセンター ドリーム21まで6台の21Dが生産され、INFシリーズは合計9台生産された。

1989年大阪市立科学館に $\alpha$ を納入、1990年3月に豊橋市視聴覚教育センターに $\beta$ を納入して、INFは $\alpha$ と $\beta$ の時代に入った。 $\alpha$ は1995年の文化パーク城陽まで6台。 $\beta$ は川口市立科学館まで海外も含めて7台が生産された。

1992年3月大津市科学館に $\gamma$ の1号機が納入され、INFのシリーズ化が完成した。その後、その後継機が開発されると、それぞれ $\alpha$ II、 $\beta$ II、 $\gamma$ IIと名付けられた。

- ・ $\alpha$ のドーム径は18m以上、恒星電球はハロゲンの4kW(但し、23m以上の場合は5kW)。
- ・ $\beta$ のドーム径は16~18m、恒星電球はハロゲンの4kW(但し、20mまでを $\beta'$ とした)。
- ・ $\gamma$ のドーム径は10~16m、恒星電球はハロゲンの2kW(但し、16m以上は2.5kW)。

- ・ $\beta'$ は5kWとし、コンデンサーレンズも改良して光量アップを図った。但し、18mでも5kWにし、コンデンサーレンズも変更した例もある。
- ・恒星電球は、特注のハロゲン電球で、寿命は150時間である。

## 7.3 MEGASTARの宇宙型

大平技研には、MEGASTARの宇宙型という機種が個別にあるわけではない。本物の星空を追求したMEGASTARと、惑星投映機が別々に用意されていて、それらを使用目的に合わせて組み合わせればよいのである。

ASTROLINERとそれ用の惑星投映機(図7.3.1)を組み合わせると、宇宙型のASTROLINERが出来上がる。

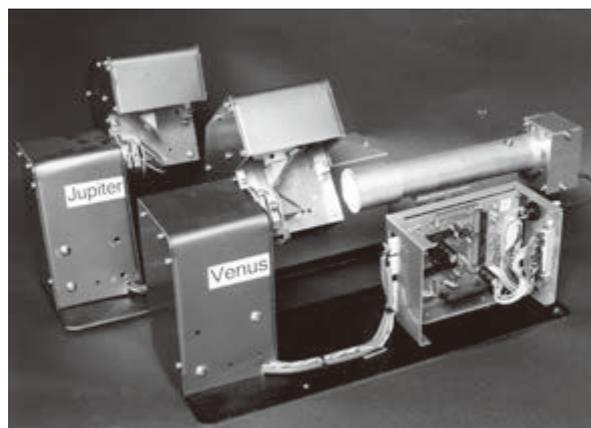


図 7.3.1 ASTROLINER用の惑星投映機

また、MEGASTARとそれ用の惑星投映機を組み合わせると、宇宙型のMEGASTARが出来上がるのである(図7.3.2)。

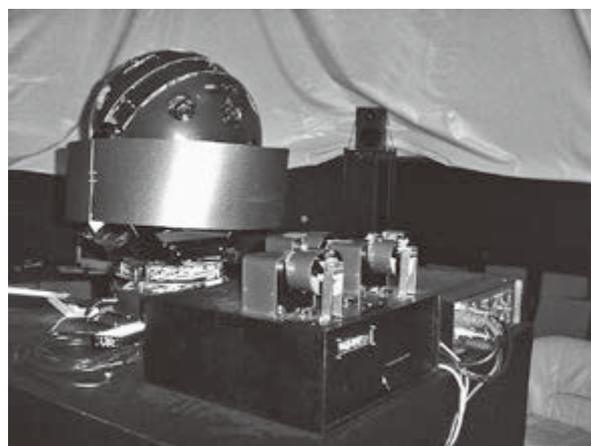


図 7.3.2 宇宙型のMEGASTAR



図 7.3.3 宇宙型の MEGASTAR-II

図 7.3.3 は、2011 年にワルシャワ (Warsaw) のコペルニクス・サイエンス・センター (Copernicus Science Center) に納入された宇宙型の MEGASTAR-II である。

#### 画像の出典

(1) 「天測暦」1980 年版、1982 年版 海上保安庁発行

#### 参考文献

- ・Newcomb, S. Tables of the Motion of the Earth on its axis and Around the Sun, A P, Vol VI, Part 1-2. 1895.
- ・Newcomb, S. Tables of the Heliocentric Motion of Mercury, A P, Vol VI, Part 2-1. 1895.
- ・Newcomb, S. Tables of the Heliocentric Motion of Venus, A P, Vol VI, Part 3-1. 1895.
- ・Newcomb, S. Tables of the Heliocentric Motion of Mars, A P, Vol VI, Part 4-1. 1898.

- ・Hill, G.W. Tables of Jupiter, Constructed in Accordance with Methods of Hansen, 1895.
- ・Hill, G.W. Tables of Saturn, Constructed in Accordance with Methods of Hansen, A P, Vol VII, Part 2-1. 1895.
- ・Newcomb, S. Tables of the Heliocentric Motion of Uranus, A P, Vol VII, Part 3-1. 1898.
- ・Brown, E. W. Tables of the Motion of the Moon, Yale University Press, 1919.
- ・Flandern, T.C. and Pulkkinen, K. F. Low-Precision Formulae for Planetary Positions, A.J. Supplement Series, 1979.
- ・Eckert, W.J. Brouwer, D. Clemence, G.M. Coordinates of the Five Outer Planets 1653-2060, A P. Vol. XII
- ・Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris and the American Ephemeris and Nautical Almanac, Her Majesty's Stationery Office, 1961.
- ・井上圭典 「月の暦のプログラム」 水路部研究報告, No.12, 1977.
- ・Transactions of the International Astronomical Union Volume X II B, Proceedings of the Twelfth General Assembly Hamburg, 1964, Academic Press London & New York, 1966.
- ・海上保安庁海洋情報部 編 「天体位置表」2010 年版, 海上保安庁発行 2010.
- ・「プラネタリアム会報」 Vol.16 No.1 日本プラネタリアム研究会, 1986.

## 8 | おわりに・謝辞

この系統化調査のお話をいただいた時、投映式プラネタリウムは、科学館や博物館といった地方自治体が主な顧客で、そう多く売れる製品ではない。しかも、メンテナンスをしっかりとやれば、数十年以上も使えるライフサイクルの長い製品である。従って、頻繁にモデルチェンジが行われたわけでもなく、革新的な技術などあるのだろうか心配であった。

しかし、プラネタリウムを構成する一部分、例えば投映機のレンズとか各種の原板、あるいは惑星の投映機構などの技術であれば、幾つかあるのではないかと考えた。ところが、プラネタリウムのメーカーで設計や製造に関わっていた技術者たちは既に会社を退社しており、当時の資料もあまり多く残っていなかった。

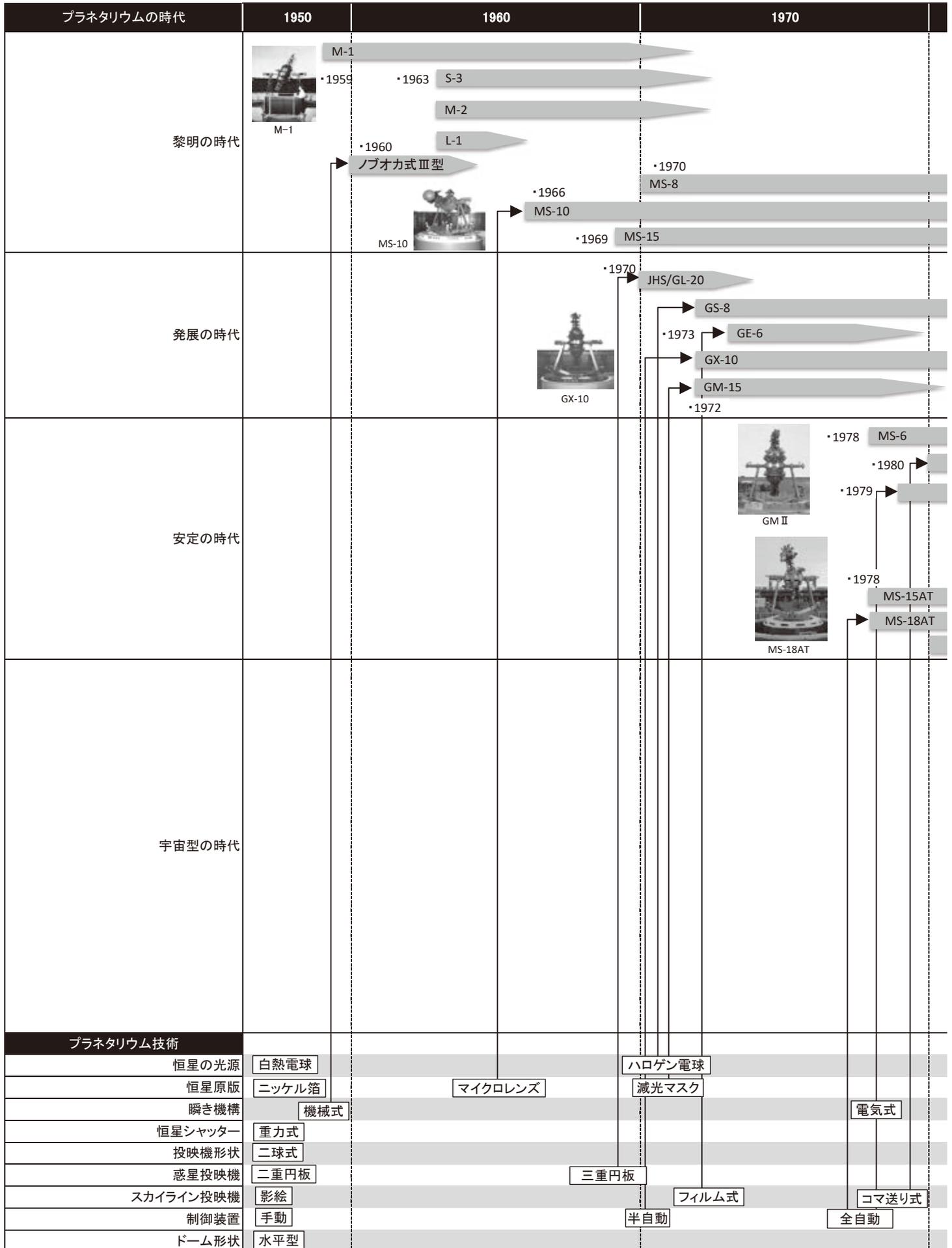
そこで、プラネタリウムというものがどういうものかということを手帳に説明することにした。その上で、わずかに残っている仕様書やカタログなどに記載されている機能や性能を掲げ、それらがどのように変わっていたかを読み取っていただくことにして、何とか報告書にまとめることができた次第である。

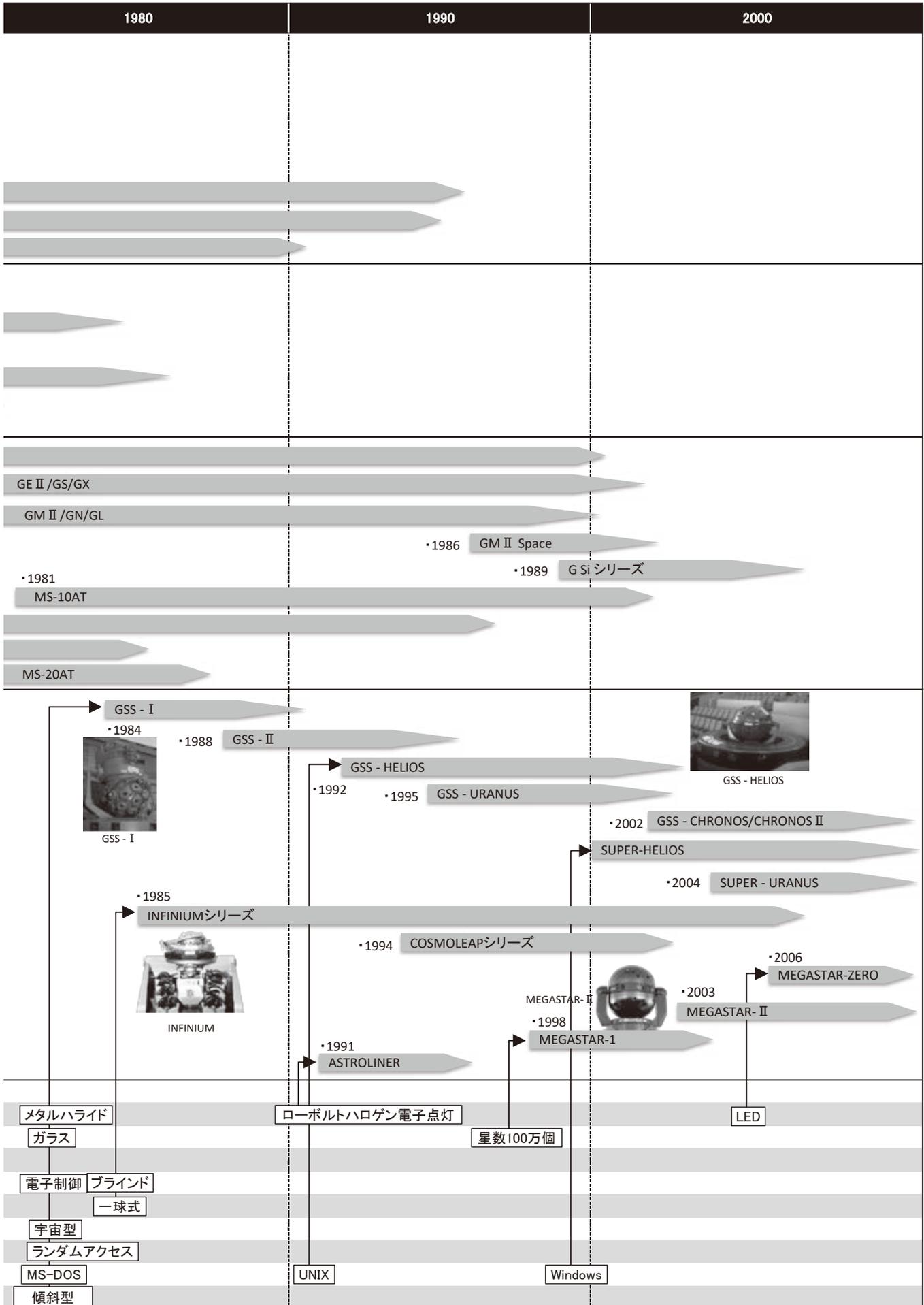
### 謝 辞

本報告書を纏めるにあたり、以下の団体やメーカー、個人の方々に、貴重な資料や写真などの提供をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

日本プラネタリウム協議会	井上 毅 安藤享平 柴崎勝利 嘉数次人 伊東昌市	毛利裕之 齋藤正晴 原 秀夫 毛利勝廣
株式会社 五藤光学研究所	明井英太郎 君山寿美恵	冠木レオ 野村早苗
コニカミノルタプラネタリウム株式会社	大江 諒	須田正貴 増田善久
有限会社 大平技研	大平貴之	田中遥香
株式会社 リブラ	田部一志	
株式会社 東急コミュニティー		永田美絵
日本プラネタリウムサービス株式会社		鈴木孝男
個人	井上圭典 金子芳江	大西道一

# プラネタリウムの各時代と技術の系統図





プラネタリウム技術 産業技術史資料 所在確認

番号	名称	納入年	製作者	資料現状	所在地	選定理由
1	S-3	1964年	株式会社 五藤光学研究所	展示中	五藤光学研究所 (東京都府中市矢崎町)	8mドーム用の小型プラネタリウムS-3型の9号機、東京都荒川区立教育センターの所有で、1964年から2011年までの47年間使用されたもの
2	M-1	1965年	株式会社 五藤光学研究所	稼働中	東京海洋大学 (東京都江東区深川)	恒星がレンズ投映式で惑星の年周運動が可能な国産初の中型プラネタリウムM-1型の9号機で、現在稼働している同型機としては最古のもの
3	MS-10	1966年	コニカミノルタ プラネタリウム株式会社	稼働中	山陽小野田市青年の家 (山口県山陽小野田市大字埴生)	ミノルタが量産品として最初に販売したプラネタリウムで、プライトスターにマイクローレンズを使い、恒星投映機に籠型のきらめき装置を付けたものとしては最古のもの
4	MS-8	1972年	コニカミノルタ プラネタリウム株式会社	稼働中	茨木市立中央公民館 (大阪府茨木市東中条町)	惑星は全てを円運動にして年周運動機構を思い切って簡素化した構造のもの
5	GM-15-T	1974年	株式会社 五藤光学研究所	休止中	いわき市文化センター (福島県いわき市平字堂根町)	需要に陰りが出始めた頃、生産体制を変えコンセンプトを掲げて挑んだGシリーズの中心的高性能機で、恒星に減光マスク方式、惑星に三重円板方式と月に中心差機構が採用された
6	MS-15	1974年	コニカミノルタ プラネタリウム株式会社	稼働中	八千代市少年自然の家 (千葉県八千代市保品)	MK-4という海外専用機として開発したものを、後に国内仕様で改良してMS-15としたもの、年周運動部はMS-10と同じだが、月に中心差機構が導入された
7	GM II -AT	1980年	株式会社 五藤光学研究所	稼働中	一宮地域文化広場 (愛知県一宮市大字時之島)	国際児童年向けに1979年に開発されたもので、架台が方位回転出来るようにターテンプレートがついており、自動演出装置を備えたもの
8	MS-18AT	1985年	コニカミノルタ プラネタリウム株式会社	稼働中	半田空の科学館 (愛知県半田市)	1978年にMS-15をベースにスペースランナー向けに開発されたもので、さらに明るく、さらに充実した演出が可能のように、マイコン制御の全自動演出装置を装備
9	INFINIUM	1985年	コニカミノルタ プラネタリウム株式会社	展示中	つくばエキスポセンター (茨城県つくば市吾妻)	1985年にミノルタが開発した3軸一球式の宇宙型プラネタリウムで、1985年3月につくばエキスポセンターに納入された、現在はINFINIUM Lとなり稼働中
10	GSS- I	1987年	株式会社 五藤光学研究所	稼働中	松山市総合コミュニティセンター (愛媛県松山市湊町)	1984年に開発した宇宙型プラネタリウムGSS-I型の2号機で、本体は4軸制御の自由軸運動、惑星投映機はPDP-11/23で演算制御され宇宙から見た天体の動きを再現、ただ制御周期は1.4秒
11	GSS- II	1989年	株式会社 五藤光学研究所	稼働中	伊勢原市こども科学館 (神奈川県伊勢原市田中)	1988年に開発された2代目の宇宙型プラネタリウムの2号機で、恒星・恒星シャッター・惑星に演算機能を持たせたマイコンボードを使用し制御周期を0.1秒まで縮めた
12	ASTROLINER	1991年	有限会社 大平技研	展示中	伊丹市立こども文化科学館 (兵庫県伊丹市)	個人製作として世界初のレンズ投映式プラネタリウム
13	MS-15AT	1992年	コニカミノルタ プラネタリウム株式会社	稼働中	千葉県立手賀の丘少年自然の家 (千葉県柏市泉)	MS-15ATはアリゾナ大学向けに1978年に開発されたが、後にアメリカ空軍士官学校の訓練用に設置された、ミノルタ50年の光学技術が生んだ多彩な機能を持つ進大型プラネタリウム
14	G1014si	1992年	株式会社 五藤光学研究所	稼働中	新宿区立教育センター (東京都新宿区大久保)	1989年に開発された、ツمامを回すだけでそれに付随する調光系が運動するというインテリジェント機能を持ち、観客参加型の演出プログラムも可能なプラネタリウム
15	GSS-HELIOS	1995年	株式会社 五藤光学研究所	稼働中	相模原市博物館 (神奈川県相模原市高根)	1992年に開発された4軸一球式の宇宙型プラネタリウムで、制御用のコンピュータにEWSを用い制御周期が0.05秒以下を実現した、宇宙型プラネタリウムの最高傑作
16	MEGASTAR-1	1998年	有限会社 大平技研	展示中	千葉県立現代産業科学館 (千葉県市川市)	世界で初めて天の川を星の集団として投映し、150万個の星の投映を実現
17	MEGASTAR- II cosmos	2003年	有限会社 大平技研	稼働中	日本科学未来館 (東京都江東区青海)	560万個の星を投映、世界で最も先進的なプラネタリウム投映機として2004年にギネス世界記録に認定、2010年に光源をLEDに変更、投映星数1000万個に改良された

「プラネタリウム技術の系統化調査」 正誤表

ページ	段落	行	技術の系統化調査報告 第29集 2020年3月 (誤)	全文PDF版 2020年7月 (正)
1		下から1	INFINUM	INFINIUM
2	Abstract		一部修正し差替え	
4	左	下から12	すれば	すれば
5	左	18	日周運動は、	日周運動を、
6	右	1	al を前に置く例えば、	al を前に置く。例えば、
8	左	14	1つが	1つを
8	左	下から14	オラリー	オラリィ
8	左	下から11	オラリー	オラリィ
9	右	下から6	(Planetariumu)	(Planetarium)
10	左	19	緯度 北緯48°に	緯度(北緯48°)に
10	左	23	デュッセルドルフのゲソレイ	西ドイツの工業都市パーメン
17	右	7	(昭和4年)	(昭和14年)
17	右	下から19	14年)	13年)
18	右	下から21	ピッツ社	スピッツ社
20	右	7	1938年	1937年
24	右	図4.14	$\tan^{-1}(231.2/532) = 23.49^\circ$	$\tan^{-1}(231.2/534) = 23.49^\circ$
24	右	下から8	回転すうように	回転するように
28	左	下から4	遠隔操作卓できる	遠隔操作できる
28	右	図4.22	I号機	1号機
28	右	13	I号機	1号機
29	左	13	信岡正氏が	信岡正典が
29	右	下から7	自作すのが	自作するのが
31	右	12	評価され、	評価され、
32	右	11	プラネタリウを見学	プラネタリウムを見学
34	左	下から2	葛飾区立石の證願寺(真言宗大谷派)内に	葛飾区立石の證願寺内に
35	右	5	地平線かが	地平線から
36	右	下から14	こそで古代の	そこで古代の
40	左	7	OmuiMax	OmniMax
42	右	4	と読んでいる。	と呼んでいる。
44	左	下から5	72°づつ	72°ずつ
44	左	下から1	No.16	No.17

47	左	下から12	入れられました。	入れられた。
48	左	14	ケガかれかれた。	ケガかれた。
49	左	下から3	ようになっている。	ようになっている。
50	左	図5.5.20	フィルム原板	水銀シャッター
50	左	図5.5.20	水銀シャッター	フィルム原板
50	右	5	なっている。	なっている。
53		17	トウエウ	トウエイ
56	右	下から2	そてには、	それには、
57	右	下から14	限り大きさや性能	限りの大きさや性能
58	左	5	ものです。	ものである。
63	左	1	表 5.4	表 5.5
63	左	表 5.4	表 5.4 GX型の…	表 5.5 GX型の…
63	右	下から9	30ごとに	30分ごとに
68	右	下から3	上き来たとき	上に来たとき
75	左	下から9	大型ラネタリウム	大型プラネタリウム
77	左	下から1	光源などが	光源などの
79	左	下から2	ドームスクリーが	ドームスクリーンが
80	右	2	とから、	から、
83	左	下から1	表 6.2の通り	表 6.1の通り
83	右	表 6.2	表 6.2 ビューレックスの…	表 6.1 ビューレックスの…
84	右	7	図 7.2.6	図 6.2.3
84	右	下から7	(図 6.2.3)。	(図 6.2.4)。
87	左	下から3	SE-II型は、	GE-II型は、
93	左	下から1	ともである。	ものである。
95	右	2	図 7.1.3は、	図 7.1.13は、
101	右	10	使用目的な合わせて	使用目的に合わせて