

2015 年(平成 27 年度)

卒業論文

プラネタリウム史における デサグリエの功績

岡山理科大学 生物地球学部 生物地球学科 加藤研究室

G12G089 福山 祥世

目次

1.	はじめに.....	3	II.	惑星の太陽までの距離の比較.....	13
I.	プラネタリウム.....	3	III.	天体の自転周期の比較.....	15
II.	プラネタリウムの元祖.....	3	IV.	公転速度の比較.....	16
III.	現存最古のプラネタリウム施設.....	3	V.	天体の直径の比較.....	16
IV.	オーラリー.....	3	VI.	地球を 1 としたときの天体の質量.....	17
V.	オーラリーからプラネタリウムへ.....	4	VII.	地球を 100 としたときの天体の密度.....	19
VI.	本研究の目的.....	4	VIII.	木星の衛星の公転周期.....	19
2.	ジョン・デサグリエと著書『A Course of Experimental Philosophy』.....	5	IX.	木星の衛星の木星までの距離.....	20
I.	ジョン・デサグリエ(1683-1744).....	5	X.	土星の衛星の公転周期.....	20
II.	『A Course of Experimental Philosophy』.....	5	XI.	土星の衛星の土星までの距離.....	21
3.	デサグリエのプラネタリウム.....	6	XII.	天体の離心率.....	21
4.	採用されている天文データ.....	7	XIII.	結論.....	22
5.	理科年表との比較.....	12	6.	後世への影響.....	22
I.	公転周期.....	12	参考文献.....		23
			附録.....		24

概要

ジョン・デサグリエ(1683-1744)はニュートンの理論を広めるために 1734 年に『A Course of Experimental Philosophy』を出版した。著書の「A Description of the PLANETARIUM」の項を日本語訳し、彼の製作したプラネタリウムについて記載事項を精査した。彼の言うプラネタリウムとは、オーラリーと呼ばれる直径 90cm ほどの太陽系の惑星の動きを歯車仕掛けで再現できる機械のことであり、現在のプラネタリウムとは大きく異なっていた。また、デサグリエがプラネタリウムの製作にあたって使用した諸天文データと現在の値とを比較を行うと、距離に関する量について大きく誤差が見られたが、他は 1700 年代の最新の研究環境を背景にしていると推察された。その後、デサグリエのプラネタリウムは一般にオーラリーと呼ばれるようになり、この用語がデサグリエの意味で使用されることはなかったと思われる。

1. はじめに

I. プラネタリウム

現在、プラネタリウムと言えば、大きな丸いスクリーンの内側に光学的な投影法により星空を再現して見せる装置や施設を想起されることが多い。このような、いわゆる光学式プラネタリウムは1923年にドイツの光学メーカーのツァイス社が最初に製作したもので、教育的要素に加え娯楽的要素を併せ持っていたため、その後、急速に世界中に普及した。わが国だけでも、現在、約300台が稼動している。わが国で最初のプラネタリウムは、1937年、大阪市立電気科学館に設置され、2号機は翌1938年、東京・有楽町の東日会館に設置された。どちらもツァイス社が製作したZeiss IIと呼ばれる機種であり、ドーム直径は18m、20mで、250～400名を収容することができた。

しかし、プラネタリウムとは惑星(planet)に場所や施設を示す接尾辞(-arium)がついた造語で、ラテン語が語源である。本来、惑星の運動を示す機械仕掛けに使った言葉であった。

II. プラネタリウムの元祖

現在のプラネタリウムは恒星の様子や動きを表現する機能と太陽、月、惑星を表す機能を併せ持っている。この2つの機能はそれぞれ異なる起源である。

紀元前275年に、天文の知識に詳しい吟遊詩人アラトス(BC315～240)はユードクソス(BC407～355)がエジプトを出る際持ち帰った天球儀について、「ファイノメナ(星空)」に書き記し、星座や天文学の知識を一般大衆へ広めた。その天球儀は赤道と交差する黄道、12星座など神話に基づいた45の星座、天の川を表す線、夏至冬至の太陽の動きを表す北回帰線、南回帰線が表わされており、「ファイノメナ」に書かれた表現に基づいて天球儀が作られその総称を「アラトスの天球儀」と呼ぶようになった。これは天球や星座を表わす機能をもつプラネタリウムの元祖である。

一方、アルキメデス(BC287?～212)は歯車を組み合わせて太陽、月の運行を表現するだけでなく、日食や月食を表現する天体運行儀をつくった。この天体運行儀は、内側

に星々が描かれ、のぞき穴から中を覗くことができた。これは太陽、月などの天体の運行を表現する機能をもったプラネタリウムの元祖である。このような天体運行儀は後に「オーラリー」と呼ばれる。

III. 現存最古のプラネタリウム施設

現存最古といわれているのはオランダのアイゼ・アイジンガーが1780年ごろ自身の自宅に製作したアイジンガー・プラネタリウムである。



図1 アイジンガー・プラネタリウムの内部

1774年5月8日に月、水星、金星、火星、木星の会合が起こった。世界の終わりと予言した本によって、多くの人がパニックに陥りました。彼はその状況を案じ、天文の運動の様子を理解してもらうために、この施設をつくろうと思い立った。この施設は200年以上経った現在でも稼動しているプラネタリウム施設であり、施設名にプラネタリウムを最初に使ったと言われている。この施設内部は右図のようになっており、太陽を中心とした惑星の動きを示すオーラリーと呼ばれる装置が天井に設置されている。それぞれの惑星は実際の周期に合わせて公転するようにつくられている。

IV. オーラリー

ジョージ・グラハム(1673-1751)が1704年地球の公転自転、月の公転を実際に近い周期比で回転する装置を作った。ジョン・ローリー(1665頃-1728)が1713年に同様の

装置をオーラリー伯爵(1676-1731)の依頼によって、作成した。

その装置をリチャード・スティールがオーラリー伯爵の名前を取り、「オーラリー」と名付けた。それ以降、惑星やその衛星の運行を表す装置のことを総称して「オーラリー」と呼ぶようになった。

V. オーラリーからプラネタリウムへ

オーラリーと同種の機械をプラネタリウムと呼んだのはジョン・デサグリエ (1683-1744) であった。以下で詳述するように、1734 年に出版した著書の中で、自分でオーラリーと同種の機械を製作したことを述べ、その構造などを紹介している。

VI. 本研究の目的

大阪市立科学館に所蔵されている、1745 年に出版されたジョン・デサグリエの著書『A Course of Experimental Philosophy』第2版を使用させていただき、本研究を行った。

第一の目的として、わが国ではあまり知られていないジョン・デサグリエ、ならびに、著書『A Course of Experimental Philosophy』に記載されている彼のプラネタリウムについて紹介することし、彼がプラネタリウムを製作する上で用いた太陽系天体の諸データを当時の他の研究者のデータや現在の値と比較することで、デサグリエの置かれていた研究環境を再現するという科学史的試みを第二の目的とする。

2. ジョン・デサグリエと著書『A Course of Experimental Philosophy』

I. ジョン・デサグリエ(1683-1744)

John Theophilus Desaguliers は 1683 年 3 月 12 日にユグノー教徒の子供としてフランスのラ・ロシェール La Rochelle で生まれた。11 歳のときナントの勅令の廃止により家族とともにイギリスに逃れた。イギリス・ロンドンのコベントガーデンで 1744 年 2 月 29 日、生涯を閉じた。満 60 歳だった。フランス名は Jean-Théophile Desaguliers である。

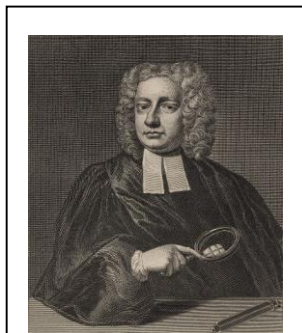


図 2 ジョン・デサグリエ

彼は 1660 年に設立された王立協会のメンバーであった。1712 年にロンドンに出てアイザック・ニュートンや他の王立協会のメンバーの知己を得て、アイザック・ニュートンの実験助手として、1714 年、王立協会のメンバーになった。彼はニュートン理論の普及に努めており、著書『A Course of Experimental Philosophy(実験物理学教典)』でニュートンの理論を広めたとして、1734 年に王立協会から科学業績に対して贈られる最も歴史の古い賞であるコプリ・メダルを受賞した。また、ニュートンの理論を公衆に対しそれを応用して見せるような普及事業も行った。

発明家としても活躍し、トーマス・セイヴァリの蒸気機関の安全弁や蒸気による暖房機を発明した。

II. 『A Course of Experimental Philosophy』

1734 年出版されたジョン・デサグリエの著書である。全 2 巻にわたっており、Vol.1 は全 568 ページ、Vol.2 は全 684 ページである。2010 年頃からリプリントが出版されている。

Vol.1 の「A Description of the PLANETARIUM」では、彼が製作したプラネタリウムと呼ばれる機械の説明が行われている。ここで、プラネタリウムとはデサグリエが作った太陽系の運行を示す装置であり、それ以前に作られていたオーラリーと同種の機械であった。

また、この著書はプラネタリウムという言葉が使われている古い文献のひとつである。

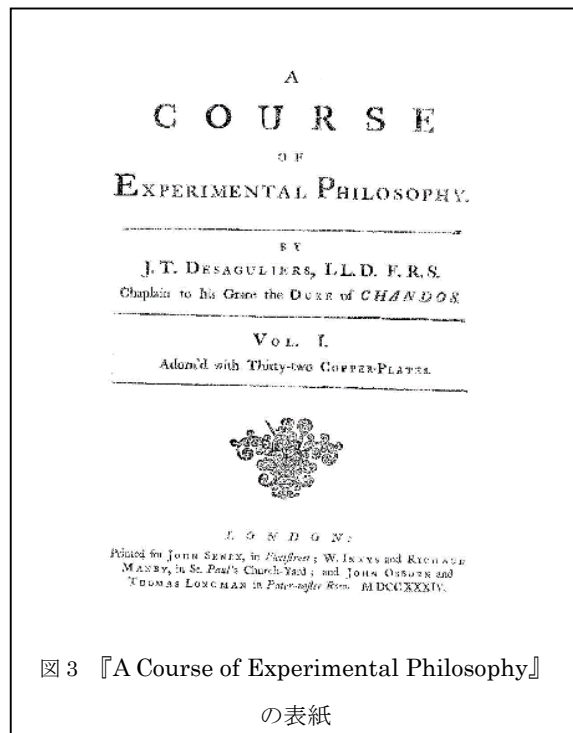


図 3 『A Course of Experimental Philosophy』

の表紙

3. デサグリエのプラネタリウム

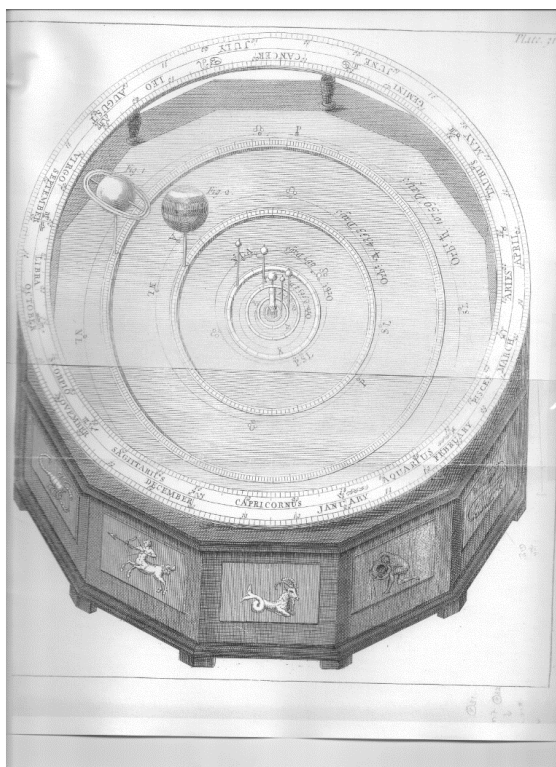


図4 太陽を中心に惑星が取り付けられたプラネタリウム

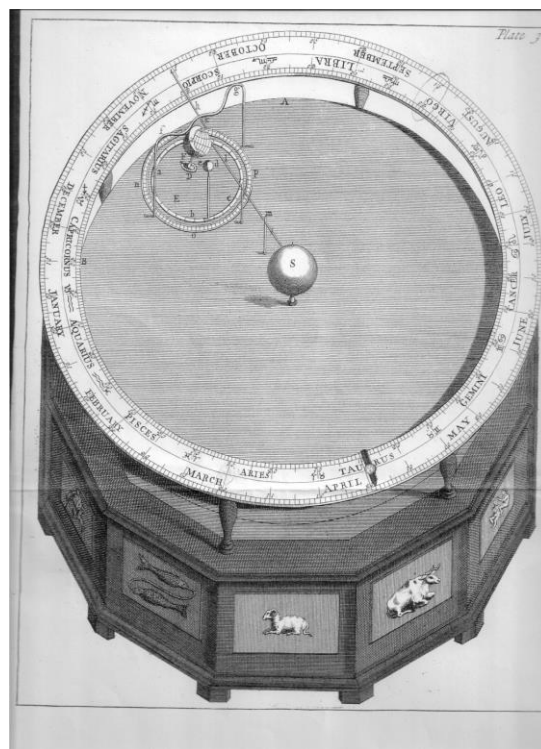


図5 太陽を中心に地球、月が取り付けられたプラネタリウム

デサグリエのプラネタリウムの大きさは高さ6インチ（約15cm）で直径3フィート（約90cm）ほどです。土台は正12角形になっており、側面に黄道十二星座が描かれていて、また装置内部はぜんまい仕掛けになっており、ハンドルを回すことで惑星を動かすことが出来た。

主な機能として

- 季節変化
- 天球を描くように動く太陽
- 地球の実際の1年間の動き
- 太陽の自転
- 太陽日、恒星日
- 月の満ち欠け
- 昼と夜という現象及び昼と夜の時間の増減が表現できたとされている。

図3は太陽を中心として惑星の模型が取り付けられているが、その大きさや比率は正しいものではない。その中でも木星、土星は取り外しが可能で、衛星を伴ったものと

取り替えることで、衛星を伴いながら太陽のまわりを公転していることが表現されている。また、木星の特徴的な帯状の縞模様、土星には環がついており、土星が1回公転する間に2回起こる環の消失現象も表現されていた。

図4は太陽を中心に水星から土星までの太陽系の惑星が取り付けられていて、地球の棒の途中に月が枝分かれして取り付けられており、図3同様衛星を伴いながら太陽のまわりを公転していることが表現されている。また、太陽の部分を取り外し、ランタンと付け替えることで、ランタンを太陽光に見立てていた。それによって、月の満ち欠けや、昼と夜という現象がどのように起こるか、日食、月食などを実際に見ることができた。

土台の周りを沿うように取り付けられた目盛りは図3に比べて図4の方が2インチ（約5cm）高くなっている。取り外すことで、図3、図4と入れ替えていたのではないかと推測される。

4. 採用されている天文データ

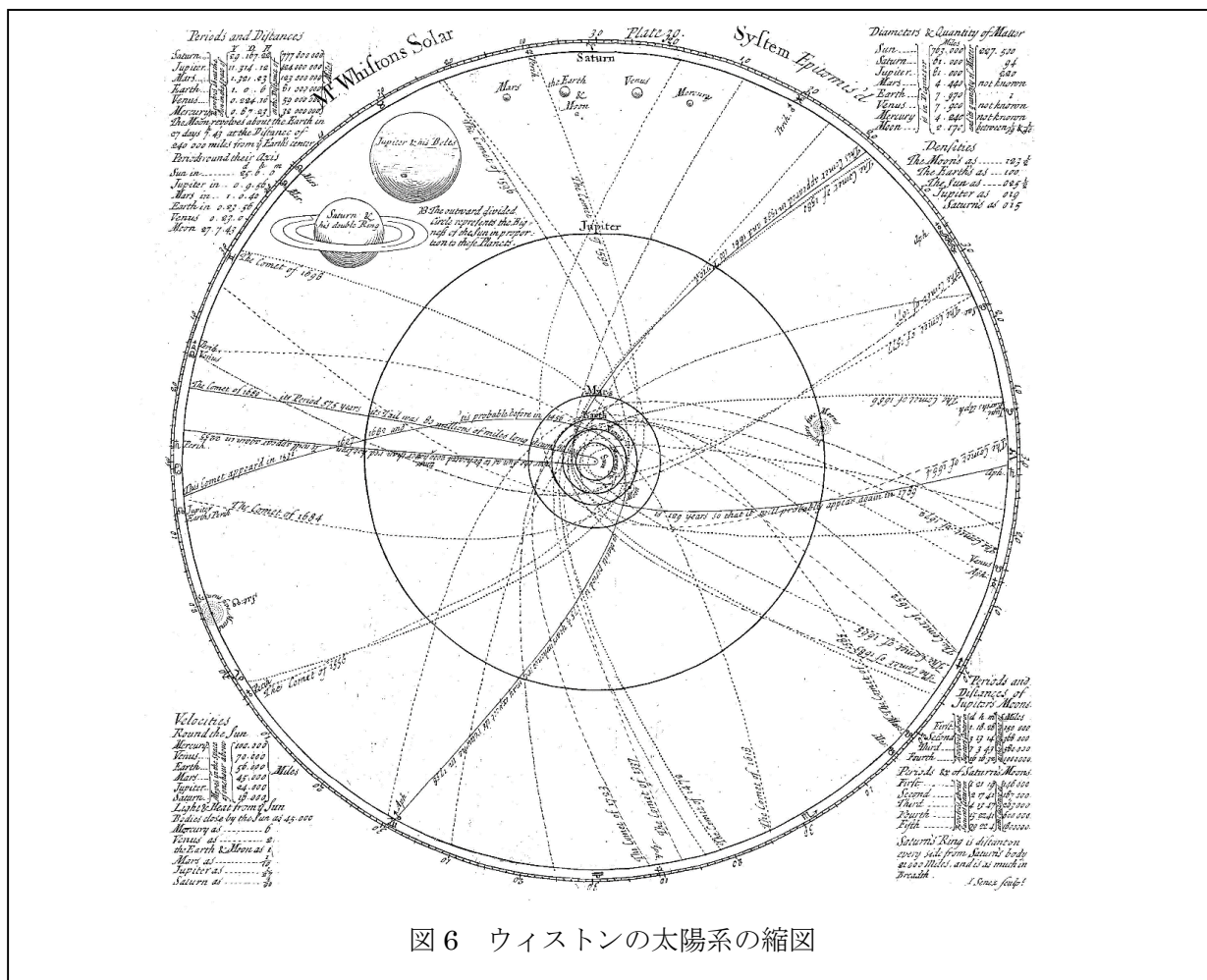


図6 ウィストンの太陽系の縮図

文献内に記述されている値はほとんどが”Mr. Whiston solar system epitomized(ウィストン氏の太陽系の縮図)”図内であり、図1に記述されている値について以下にまとめる。

記述されている天体は基本的に太陽、水星、金星、地球、火星、木星、土星、月までである。天王星は1781年、海王星は1846年に発見(2015 理科年表)されたため、文献には記述されていない。また、土星、木星の衛星についても記述があるが、天体名はなく、ナンバリングがされている。

表1 惑星の公転周期

	y	d	h
水星	0	87	23
金星	0	224	16
地球	1	0	6
火星	1	321	23
木星	11	314	12
土星	29	167	22

表 2 惑星の太陽までの距離

	距離(mile)
水星	3.200.E+07
金星	5.90.E+07
地球	6.10.E+07
火星	1.230.E+08
木星	4.240.E+08
土星	7.770.E+08

表 3 天体の自転周期

	d	h	m
太陽	25	6	0
金星	0	23	0
地球	0	23	56
火星	1	0	40
木星	0	9	56
月	27	7	43

表 4 惑星の公転速度

	公転速度(mile/h)
水星	100,000
金星	70,000
地球	56,000
火星	45,000
木星	24,000
土星	16,000

表 5 天体の直径

	直径(mile)
太陽	763,000
水星	4,240
金星	7,900
地球	7,970
火星	4,440
木星	81,000
土星	61,000
月	2,170

表 6 地球を 1 としたときの天体の質量

	質量
太陽	227500
水星	not known
金星	not known
地球	1
火星	not known
木星	220
土星	94
月	1/39 と 1/40 の間

表 7 地球を 100 としたときの天体の密度

	密度
太陽	$123 \cdot 1/2$
地球	100
木星	$25 \cdot 1/2$
土星	19
月	15

表 8 木星の衛星の公転周期

	d	h	m
1 番	1	18	26
2 番	3	13	14
3 番	7	3	43
4 番	16	16	32

表 9 木星の衛星の木星までの距離

	距離(mile)
1 番	150,000
2 番	368,000
3 番	560,000
4 番	1,000,000

表 10 土星の衛星の公転周期

	d	h	m
1 番	1	21	19
2 番	2	17	41
3 番	4	13	47
4 番	15	22	41
5 番	70	22	4

表 11 土星の衛星の土星までの距離

	距離(mile)
1 番	246,000
2 番	167,000
3 番	263,000
4 番	600,000
5 番	1,600,000

次に本文内に記述されている値についてまとめる。

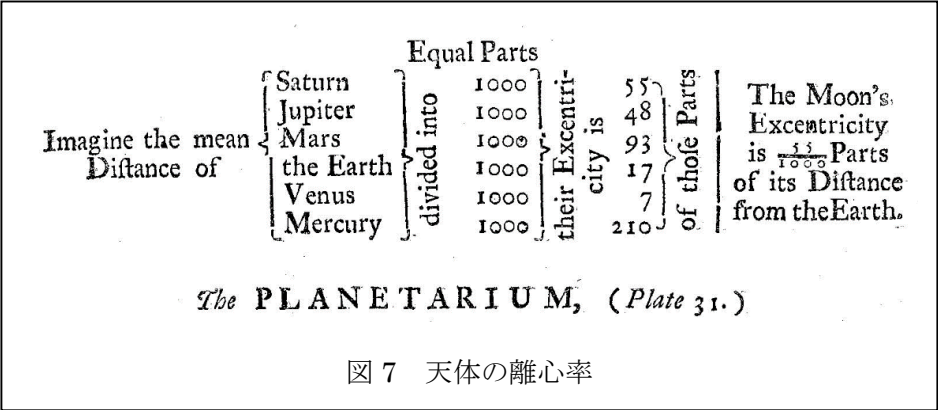


表 12 天体の離心率

	離心率
水星	210/1000
金星	7/1000
地球	17/1000
火星	93/1000
木星	48/1000
土星	55/1000
月	55/1000

表 13 地球太陽間を 10 としたときの惑星の距離

	距離
水星	4
金星	7
地球	10
火星	15
木星	52
土星	95

5. 理科年表との比較

I. 公転周期

表 14 公転周期の比較

	文献値			理科年表		
	y	d	h	y	d	h
水星	0	87	23	0	87	23
金星	0	224	16	0	224	17
地球	1	0	6	1	0	0
火星	1	321	23	1	321	17
木星	11	314	12	11	314	20
土星	29	167	22	29	166	24

表 1 惑星の公転周期と理科年表の比較を行った。

また、理科年表の単位が年だったため、文献値と単位を合わせるために年、日、時に変換し、小数点第 1 位以下を四捨五入してある。

公転周期は会合周期から算出でき、会合周期は観測により容易にわかる。

会合周期とは

内惑星の場合、惑星が地球との合から再び合に戻るまでの周期

外惑星の場合、惑星が地球との衝から再び衝に戻るまでの周期 である。

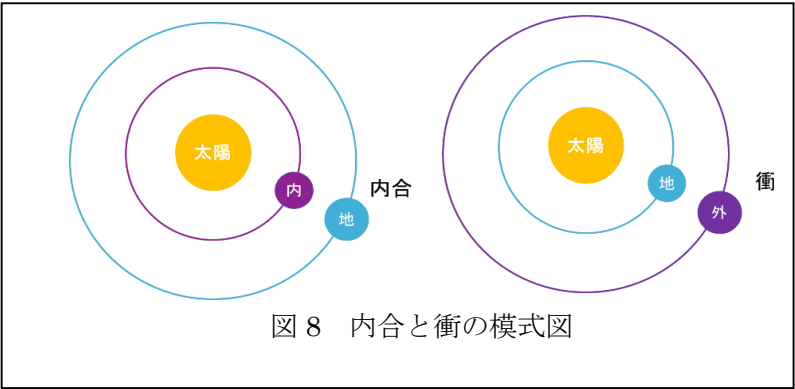


図 8 内合と衝の模式図

公転周期の算出方法は

内惑星の公転周期 P 日、地球の公転周期 E 日、会合周期 S 日とすると、

内惑星の場合

内惑星は 1 日 $\frac{360}{P_{内}}$ 度、地球は 1 日 $\frac{360}{E}$ 度 公転する。

この 2 天体の差は $\frac{360}{P_{内}} - \frac{360}{E}$

この差が S 日で 360 度になる

$$\text{よって } \left(\frac{360}{P_{\text{内}}} - \frac{360}{E}\right)S = 360$$

$$P_{\text{内}} = \frac{SE}{S+E} \quad \cdots(1)$$

$$\text{外惑星の場合同様に } P_{\text{外}} = \frac{SE}{S-E} \quad \cdots(2)$$

II. 惑星の太陽までの距離の比較

表 15 距離の比較

	文献値(km)	理科年表(km)
水星	51,200,000	57,900,000
金星	94,400,000	108,200,000
地球	97,600,000	149,600,000
火星	196,800,000	227,900,000
木星	678,400,000	778,300,000
土星	1,243,200,000	1,429,400,000

表 2 惑星の太陽までの距離と理科年表との比較を行った。

また、表 2 の単位は mile だったため、1mile=1.6km で計算を行った。

表 16 地球太陽間を 10 としたときの惑星の太陽までの距離

	文献値	理科年表
水星	4	4
金星	7	7
地球	10	10
火星	15	15
木星	52	52
土星	95	96

表 13 地球太陽間を 10 としたときの惑星の距離と理科年表との比較を行った。

また、理科年表の値は表 15 の理科年表の値の部分の地球を 10 として、計算を行い、少数点第 1 位以下を四捨五入してある。

表 15、表 16 はどちらも、惑星の太陽までの距離であるが、表 15 は絶対的な値、表 16 は相対的な値である。表 16 がほ

ば誤差なく算出されているのにも関わらず、表 15 は精度が良くない。

太陽までの距離の比は

ケプラーの第 3 法則「太陽から惑星までの距離 d の三乗と公転周期 T の 2 乗の比は一定である」(1619 年発表)を使い、表 1 で公転周期がわかっているの、容易に算出が可能である。

$$\text{ケプラーの第 3 法則} \quad \frac{d^3}{T^2} = K(\text{一定}) \quad \cdots(3)$$

太陽から火星までの距離の比 d_M を算出するには、

$$\text{火星の公転周期} \quad T_M = 1.9(\text{年})$$

太陽から地球までの距離を $d_E = 10$ 、公転周期 $T_E = 1.0(\text{年})$ とすると

$$\begin{aligned} \text{(3)式により} \quad \frac{d_M^3}{T_M^2} &= \frac{d_E^3}{T_E^2} \\ \frac{d_M^3}{(1.9)^2} &= \frac{10^3}{(1.0)^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_M^3 &= 3610 \\ &= (3610)^{\frac{1}{3}} \end{aligned}$$

$$d_M = 15.3$$

他の惑星についても同様に算出ができる。

一方、表 15 のような絶対的な値は、1 天文単位が正確にわからなかったため理科年表の値との誤差がある。

1700 年頃は金星の太陽面通過から、1 天文単位を正確に算出しようとしていた。

実際、デサグリエは文献内で「1761 年 5 月 26 日の金星の太陽面通過によって太陽までの距離がわかるだろう。」と記述している。

1700 年代はユリウス暦が使われているため、

hosi.org 暦法と暦年代(<http://hosi-org.herokuapp.com/>)を使い、現在の暦であるグレゴリオ暦に変換する。

The screenshot shows the hosi.org website interface. At the top, there's a search bar with 'ユリウス暦 1761' entered. Below it, a table displays various calendar systems for the date 1761-06-06. The 'グレゴリオ暦' (Gregorian Calendar) is highlighted in red. The table also shows the corresponding date in the Julian calendar (1761-05-26) and other historical calendars like the Islamic and Chinese calendars. The website's header includes the hosi.org logo and navigation links.

図 9 hosi.org での暦の変換

1761 年 5 月 26 日(ユリウス暦)⇒1761 年 6 月 6 日(グレゴリオ暦) となった。

1761 June 6th Transit of Venus(http://astro.ukho.gov.uk/nao/transit/V_1761/)と記述されており、1761 年 6 月 6 日に金星の太陽面通過が確か観測されている。

しかし、このときの観測では誤差が大きく、正確な距離は測定できなかった。そのため、次の太陽面通過である 1874 年 12 月 9 日まで待つ必要があった。

III. 天体の自転周期の比較

表 17 自転周期の比較

	文献値			理科年表		
	d	h	m	d	h	m
太陽	25	6	0	25	9	7
水星	記述なし			58	15	31
金星	0	23	0	243	4	26
地球	0	23	56	0	23	56
火星	1	0	40	1	0	37
木星	0	9	56	0	9	55
土星	記述なし			0	10	39
月	27	7	43	27	7	43

表 3 天体の自転周期と理科年表の値の比較を行った。

また、理科年表は単位が年だったため、文献値と単位を合わせるために年、日、時に変換し、小数点第 1 位以下を四捨五入してある。

水星、土星については記述がなく、金星については理科年表の値と大きく誤差がある。天体表面の模様などから、観測をすることで自転周期は推定することができる。しかし、水星、土星、金星は特徴的な模様がないことや、大きさが小さいことから観測から推定することが困難であったと推測される。

1960 年代のドップラー効果を利用したレーダー観測により、自転周期や金星が他の惑星と逆に自転していることなどがわかるようになった。

IV. 公転速度の比較

表 18 惑星の公転速度の比較

	文献値(km/h)	理科年表(km/h)
水星	160,000	170,496
金星	112,000	126,072
地球	89,600	107,208
火星	72,000	86,688
木星	38,400	47,016
土星	25,600	34,740

表 4 惑星の公転速度と理科年表の値との比較を行った。

また、表 4 の単位は mile なので単位を合わせるために、1mile=1.6km で計算を行った。

惑星の公転速度 $v(\text{km/h})$ は

公転周期 $T(\text{h})$ 、太陽から惑星までの距離 $d(\text{km})$ が分かれば容易に算出が可能である。

$$T = \frac{2\pi d}{v} \quad \dots(4)$$

(4)より、 $v = \frac{2\pi d}{T}$ に表 1(単位を h に変換する必要がある)、表 15 の値を代入することで算出が出来る。

しかし、4. 2 でも述べたとおり、太陽から惑星までの絶対的な値は 1700 年当時、検討が必要であった。太陽から惑星までの絶対的な値が算出されることで、公転速度もさらに精度が上がっていったと考えられる。

V. 天体の直径の比較

表 19 天体の直径の比較

	文献値(km)	理科年表(km)
太陽	1220800	1392000
水星	6784	4879
金星	12640	12104
地球	12752	12756
火星	7104	6792
木星	129000	142984
土星	97600	120536
月	3472	3475

表 5 天体の直径と理科年表の値との比較を行った。

また、表 4 の単位は mile なので単位を合わせるために、1mile=1.6km で計算を行い、理科年表の赤道半径を 2 倍し、直径とした。

直径 D を算出するには、円周 L 、視直径 θ 、太陽までの距離 d から

$$D = L \frac{\theta}{360} \quad \dots(5)$$

(5)式に $L = 2\pi d$ を代入して、 $D = 2\pi d \frac{\theta}{360}$ となる。

しかし、太陽までの距離 d が正確にわかっていなかったのにもかかわらず、直径は精度よく算出されている。視直径については文献内に記述はないが、現在の値に比べて誤差があったのではないかと推測される。

VI. 地球を 1 としたときの天体の質量

表 20 地球を 1 としたときの天体の質量の比較

	文献値	理科年表
太陽	227500	332946
水星	not known	0.05527
金星	not known	0.815
地球	1	1
火星	not known	0.1074
木星	220	317.83
土星	94	95.16
月	0.025~0.02564	0.0123

表 12 地球を 1 としたときの天体の質量と理科年表の値との比較を行った。

また、表 12 の月の値は小数点第 5 位以下を四捨五入してある。

水星、金星、火星は「not known」と記述され、値が出ておらず、月の質量が現在の倍ぐらいの値になっていることがわかる。天体の質量は、衛星を持つ天体においてケプラーの第 3 法則等から算出が可能である。しかし水星、金星、月には衛星がないこと、火星は 1877 年に衛星が発見され(理科年表 2015)このときには衛星がなかったため算出が困難であったと推測される。

衛星を持つ惑星の質量を求めるには、

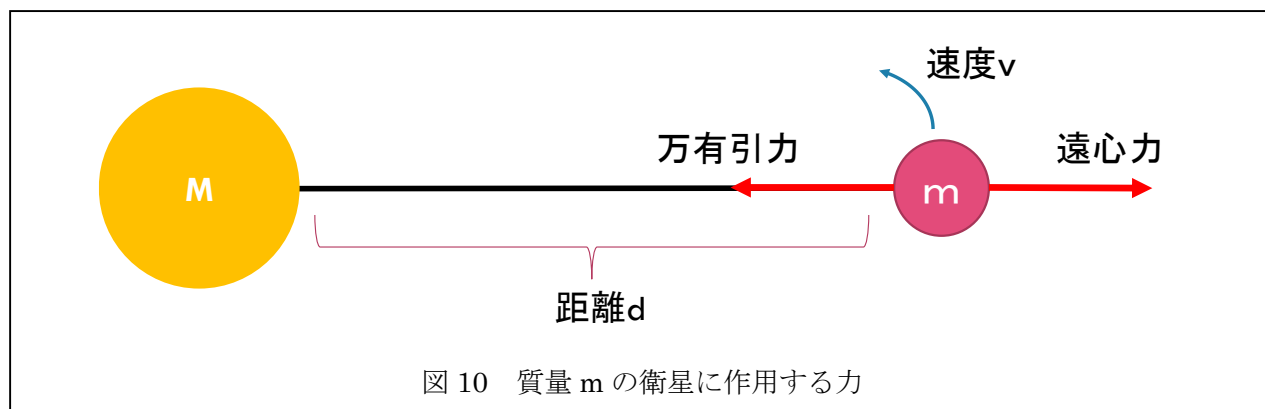


図 10 質量 m の衛星に作用する力

図のように、母天体の質量を M 、衛星の質量を m 、母天体と衛星との距離を d 、衛星の公転速度を v とする。(万有引力

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \left(\frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \right)$$

万有引力 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ と遠心力 $F = m \frac{v^2}{d}$ はつりあっているので、

$$G \frac{Mm}{d^2} = m \frac{v^2}{d} \quad \dots(6)$$

(5)式より、 $M = \frac{dv^2}{G}$ $v = \frac{2\pi d}{T}$ を代入すると、

$$M = \frac{1}{G} d \left(\frac{2\pi d}{T} \right)^2$$

$$M = \frac{4\pi^2}{G} \left(\frac{d^3}{T^2} \right) \quad \text{となる。}$$

また、公転周期 T を代入すれば、質量がわかる。

しかし、表 12 は質量の比なので、(3)式から容易に算出ができる。

衛星のない天体については、人工衛星や探査機が天体に近づくことによってより正確な質量が算出されていくようになった。

VII. 地球を 100 としたときの天体の密度

表 21 地球を 100 としたときの天体の密度の比較

	文献値	理科年表
太陽	25.5	25.59
水星	記述なし	98.55
金星	記述なし	95.10
地球	100	100
火星	記述なし	71.32
木星	19	24.14
土星	15	12.52
月	123.5	60.62

表 7 地球を 100 としたときの天体の密度と理科年表の値との比較を行った。

理科年表の天体の密度は地球を 100 として計算を行い、小数点第 3 位以下を四捨五入してある。

密度 ρ を求めるには、質量を M 、太陽までの距離を d 、半径を r 、公転周期を T 、重力定数を G とすると

$$(\text{密度}) = \frac{(\text{質量})}{(\text{体積})} = \frac{\frac{4\pi^2 d^3}{G T^2}}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad \dots(7)$$

$$\rho = \frac{3\pi}{Gr^3} \left(\frac{d^3}{T^2} \right) \quad \text{となる。}$$

VIII. 木星の衛星の公転周期

表 22 木星の衛星の公転周期の比較

	d	h	m	d	h	m
	文献値			理科年表		
イオ	1	18	26	1	18	28
エウロパ	3	13	14	3	13	14
ガニメデ	7	3	43	7	3	43
カリスト	16	16	32	16	16	32

木星の衛星は文献内に名前の記述がなく、ナンバリングされているだけだった。

そのため、出版当時既に発見されていたガリレオ衛星(1610 年発見)であると同定し、表 8 木星の衛星の公転周期と理科年表との比較を行った。

また、理科年表は単位が日だったため、文献値と単位を合わせるために日、時、分に変換し、小数点第 1 位以下を四捨五

入してある。

衛星の公転周期は観測から推定することができた。

IX. 木星の衛星の木星までの距離

表 23 木星の衛星の木星までの距離の比較

	文献値(km)	理科年表(km)
イオ	240,000	421,803
エウロパ	588,800	671,310
ガニメデ	896,000	1,070,235
カリスト	1,600,000	1,882,384

表 20 と同様にガリレオ衛星であると同定し、表 9 木星の衛星の木星までの距離と理科年表との比較を行った。

また、また、表 9 の単位は mile なので単位を合わせるために、1mile=1.6km で計算を行い、理科年表の値は小数点第 1 位以下を四捨五入してある。

X. 土星の衛星の公転周期

表 24 土星の衛星の公転周期の比較

	d	h	m	d	m	h
	文献値			理科年表		
テティス	1	21	19	1	21	18
ディオネ	2	17	41	2	17	41
レア	4	13	47	4	12	25
タイタン	15	22	41	15	22	41
イアペトゥス	70	22	4	79	7	57

木星の衛星は文献内に名前の記述がなく、ナンバリングされているだけだった。

そのため、出版当時既に発見されていた衛星を同定し、表 10 土星の衛星の公転周期と理科年表との比較を行った。

また、理科年表は単位が日だったため、文献値と単位を合わせるために日、時、分に変換し、小数点第 1 位以下を四捨五入してある。

衛星の公転周期は観測から推定することができた。

表 25 衛星の同定

番号	衛星名	発見年	発見者
1 番	テティス	1684	カッシーニ
2 番	ディオネ	1684	カッシーニ
3 番	レア	1672	カッシーニ
4 番	タイタン	1655	ホイヘンス
5 番	イアペトゥス	1671	カッシーニ

XI. 土星の衛星の土星までの距離

表 26 土星の衛星の土星までの距離

	文献値(km)	理科年表(km)
テティス	393,600	294,711
ディオネ	267,200	377,278
レア	420,800	527,345
タイタン	960,000	1,221,632
イアペトゥス	2,560,000	3,560,633

表 11 木星の衛星の木星までの距離と理科年表との比較を行った。

また、また、表 11 の単位は mile なので単位を合わせるために、1mile=1.6km で計算を行い、理科年表の値は小数点第 1 位以下を四捨五入してある。

XII. 天体の離心率

表 27 天体の天体の離心率の比較

	文献値	理科年表
水星	0.21	0.206
金星	0.007	0.007
地球	0.017	0.017
火星	0.093	0.093
木星	0.048	0.049
土星	0.055	0.056
月	0.055	0.056

表 12 天体の離心率と理科年表の値との比較を行った。

また、理科年表の値については、小数点第 4 位以下を四捨五入してある。

XIII. 結論

多くの天文データについては観測や計算により容易に算出することが出来ていたため、現在とほぼ誤差がなかったため、距離の関する諸データ以外は 1700 年代の最新の研究環境を背景にしていると推察された。

しかし、デサグリエも著書の中で述べているように、距離に関する諸データについては、大きく誤差が見られた。距離の比はケプラーの第 3 法則から容易に算出が出来た一方で、絶対的な量については金星の太陽面通過を観測するという方法は確立されていたが算出が出来ていなかったということがわかった。これは、金星の太陽面通過は約 100 年に 1 回しか起こらず、デサグリエが著書を出版した当時は、時期が合わず観測できなかったためであった。

また、1700 年代の研究環境として、1600 年までの宗教に基づく天動説に立った宇宙観が捨てられ、観測や理論に基づく地動説への転換がなされた。このような転換は、後世に誰にでも再現することの出来る実験や観測によって、自説を証明するという方法が確立されるという影響を与えたと推察された。

6. 後世への影響

オーラリー、デサグリエのプラネタリムは現在の器械式プラネタリウムでは、少し形を変えて太陽・月・惑星の投影機として使われていて、地球と惑星を結ぶ線上に投影機を置き、地球方向から光を発するようにすれば天球上に惑星位置が投影される。

デサグリエはオーラリーと同種の機械をプラネタリウムと呼んでおり、デサグリエ以降オーラリーをプラネタリウムと呼んでいたのは、1780 年ごろアイゼ・アイジンガーが自身の自宅に製作したアイジンガー・プラネタリウムである。アイジンガーのプラネタリウムは、多くの人に広く公開され、一般大衆に天文学の知識を広める役割を担ったと推測される。よって、現在のプラネタリウムはアイジンガーのプラネタリウムから名づけられたのではないかと推測される。

アイジンガーのプラネタリウムは天文学の知識がない人でも視覚的に理解することができたのに対して、デサグリエの著書は専門書として書かれており、デサグリエのプラネタリウムは一般大衆に広まることはなかったのではないかと推測される。

参考文献

伊東 昌市、1998、地上に星空を プラネタリウムの歴史と技術、38 -52(株式会社裳華房)

天文学大事典、2007、95,207-209,412,558,592,593(株式会社地人書館)

理科年表、2015、78-80,82(丸善出版株式会社)

ブライヤン,M、坪田 幸政訳、2003、ケンブリッジ物理学コース宇宙の科学ー天文学入門、22(丸善出版株式会社)

キティー,F、加藤 賢一、吉本 敬子、宇宙を測る 宇宙の果てに挑んだ天才たち、2002、117,118(講談社)

中村 士、岡村定矩、2011、宇宙観 5000 年史、93,232,233(東京大学出版会)

Koninklijk Eise Eisinga Planetarium

<http://www.planetarium-friesland.nl/nl>

名古屋市科学館『アイジンガー・プラネタリウム』

[http://www.ncsm.city.nagoya.jp/cgi-](http://www.ncsm.city.nagoya.jp/cgi-bin/visit/exhibition_guide/exhibit.cgi?id=A530&key=%E3%82%8F&keyword=%E6%83%91%E6%98%9F%E5%84%80)

[bin/visit/exhibition_guide/exhibit.cgi?id=A530&key=%E3%82%8F&keyword=%E6%83%91%E6%98%9F%E5%84%80](http://www.ncsm.city.nagoya.jp/cgi-bin/visit/exhibition_guide/exhibit.cgi?id=A530&key=%E3%82%8F&keyword=%E6%83%91%E6%98%9F%E5%84%80)

THE ROYAL SOCIETY『Desaguliers: John Theophilus (1683 - 1744)』

<https://collections.royalsociety.org/dserve.exe?dsqIni=Dserve.ini&dsqApp=Archive&dsqDb=Persons&dsqSearch=Code==%27NA8419%27&dsqCmd=Show.tcl>

プラネタリウムの考古学『惑星儀・惑星運行儀・オーラリー』

<http://www.geocities.jp/bluedeps/planet/orrery.html>

hosi.org 暦法と暦年代

<http://hosi-org.herokuapp.com/>

HM Nautical Almanac Office『Transits of Venus』

http://astro.ukho.gov.uk/nao/transit/V_1761/

理科年表オフィシャルサイト『惑星の重さ』

https://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/tenmon/tenmon_002.html

附録

「A Description of the PLANETARIUM」の翻訳

天体の動きや見かけを表現するために機械や装置はどの年代でも公正にみなされていた。つまり特にコペルニクスの体系が一般に正しく受け入れられてから最も可能性のある仮説と信じられていただけでなく、ニュートンもまたコペルニクス体系が正しい世界の体系であると重力の法則によって証明した。少なくとも地球の住人である我々に関係するというよりも多くの宇宙の体系に関係するものである。それは私たちの目に見える限りだけではなく望遠鏡で発見できるものである。

このような機械のおかげで彼ら自身の時間を費やして天文学の研究に育む時間はなかったが、天の様子を知りたいと望んでいた多くの人たちはそれでもなお2、3日の間にいくつかの現象に対する十分な知識を得ることができるかもしれない。特に地球の動きに対する共通の先入観から救われるかもしれない。

天文学者などは力学に熟知しており、このような動くものの類を作り出したり考察したりするとき、彼らはそのような機械は描くことを意図されていることを示す事によって提案された目的に答えを出した。しかし、天文学についての十分な知識や技術のある人からの適切な教えがなかったので、道具職人は天文学者によって工夫がなされたような不適切な付加価値のついた単におおげさで高価なものをつくるためにみかけ上の改良のもとで機械が作られた。つまり発明者の正しい意図は打ち壊され、バイヤーは天文学についての間違った考えに高額を支払った。

ジョージ・グラハムは(私に正しい知識があるなら)イングランドで約20か30年前に地球の周りを回る月の動きと太陽の周りをまわる月と太陽の動きをしめす機械を作り出した最初の人物である。

＊

この機械の全事象においてそれは示されていて、うまく正確に実行されていた。たとえば季節や太陽は連続した天頂であること、平行に描写されているように見える地球の場所、太陽の見かけ上の動きを与えた地球の実際の年周運動や軸に対する太陽の回転、定期的で周期的な月、あらゆる部分が連続的に明るくなることによって日中と夜間の現象やゆるやかな増減である。この機械は技術者の手元にあったので、ユーージーン王子の下に彼自身のいくつかの装置とともに送られた。彼はそれを複製し、最初にオーリーは伯爵のために作った、それから彼自身のものを加えていくつか作った。グラハムの機械について何も知らないリチャード・スティール氏は太陽系儀と呼ばれるこのような奇妙な道具の発明家だけではなく最初の推進者として正しく扱うべきであると考えていて、ローリーにグラハムのつもりで賞賛を与えた。

そのときから太陽系儀はとても流行し続けている、最も装飾的な風にローリーによって、その後のかの技術職人によって実行された。しかし残りの進歩を無学な人によって計算された惑星や衛星の追加が行われた、しかし距離や大きさの割合に対する間違った考えや失敗が与えられるだけであった。それはいるでもそうであった。一方、地球をまわる月の軌道は同じ機械のよって固定された。それは惑星と衛星であった。

一般的なシステム(私たちの地球のごく一部の)はそのとおりに存在するべきである。つまり太陽、月、地球はまたそれら自身で示されるべきである。等級や距離が正確な衛星をもつ惑星(たとえば木星のような)の体系はそれ自身によって示されるべきである。それらの考察(わかりやすく手早い手法による私の実験原理の方向性について名誉に思っているような人ための天の現象の正しい考えら与えられることの願望)は設計させ、言及する上で必要なものすべてをもったような動きを作らせるようにしむけた。天の機械に相当しうる正しい比率で示せるかもしれない。

私は着脱可能ないくつかのパーツで成り立ったものを引き続いて作った。そしてそれを“PLANETARIUM”と呼ん

だ。それを扱う前に私はその説明を行っていかう。

私は読者に 30 図に目を向けていただきたいと思う、それはウィストン氏の太陽系の案を尺図的に扱ったものである。どのようにして彼は彼自身に物体の距離、等級、周期、質量や軸周りの回転、密度、そしてすべての惑星や衛星の軌道の速度、いくつかの彗星の軌道、それらのうち3つの周期の意味を知らせているのだろう。ただわついはこの案にかかわるいくつかの事象を観測しなければならない、それは(考えるだけでは)間違えを導かれるかもしれない。

1. 私たちは 2.3 マイルの制度で表現された太陽から惑星の距離を見られるけれども、私たちは想像できない、それは私たちが実際に月の距離を測ることが出来るように私たちはそれらの 2.3 マイルの精度で距離を測ることが出来る、なぜなら月の距離の約 $1/60$ である地球の半直径(その質量はマイルで知られている)は月の距離について十分な測定値であった。だが一方、それは太陽の距離の $20/1000$ にも満たない。それゆえにその距離の測定値は不十分であった。太陽の距離を見つけるほかの方法が本当にある。例えば、火星の視差のようなものがあるが、それらのうち1つもそれが 10 万マイルの制度で確かめることは出来なかった。私たちは次の金星の太陽面通過である 1761 年 5 月 26 日まで待ち続けなければならない。そのとき私たちは通過を観測することによって全距離の $1/500$ の精度で太陽までの距離がわかる。ハーリー博士は“philosophical trasasions”の No.348 の p.454 において示すだけではなくその強みは実際のたった 15, 16000 マイルの精度であった。しかしながら、私たちは太陽のまわりをまわる天体の大きさや距離の比を知っている。もし地球から太陽の距離をここでとりきめた 8100 万マイルとすると圓やすべての距離や直径は正しい。私たちは太陽の直径の距離を知っている、それは大勢の天文学者が表現する方法であった。知られるようになるといつでも、残りのすべても同様にわかるだろう、それゆえにそれらのそれぞれの割合は図や機械にとって表現されるだろう。しかし地球や月の精密な割合は伝わっていない。
2. 23 時間で軸が現れるとき金星がここのあるとする。しかしウィストン氏は彼の図を発表して以来、Bianchini 氏は観測した。彼女(金星)軸回りを 24 日と 8 時間で回転している。その軸は水平の軌道から 15 度傾いている。
3. 私たちが本当に速度がわかっている星である月の軌道上の速度はここでは忘れる。彼女は一時間に 2300 マイル動く地球から太陽の距離を 8100 万マイルとするとほかの星が一時間にどれだけ動くかがわかる。
天体の距離や直径のより簡単な考えがある。10 に分けられた水星は 4、私たちが太陽の直径を 100 とすると土星は $7 \cdot 5/10$ 、木星は 10、火星は $55/100$ 、地球は 1、金星は 1、水星は $54/100$ 、月は $285/1000$ 、木星と木星の衛星は地球と同じくらいの大きさであると推測される。
4. 動いている惑星で楕円の部分の曲率の異なる点はより大きな図でさらに十分表現することはできない。その離心率は表現されただろう。しかしそれは彗星の軌道の間で混乱されないようにしておく。惑星の離心率はそれぞれの距離が表された線によって表現され、1000 ごとに等しく区分されるだろう。そしてそれからその離心率やその部分の次の数字だろう。

これは 6 インチの高さで直径 3 フィートの枠組みに取り付けられていて、12 の垂直面に含まれている。それは黄道の 12 の記号に相当する。上の面は磨かれた黄銅で平らである。銀色の平らで大きな輪(黄道に相当する)を支えるためにその奥の 3 つを黄道帯の記号の 12 個に区分した。そのそれぞれは 30 度で区分されており、その中の角度は惑星の北緯と南緯に適した場所を Nodes Apbclia を彫った。次の 2 つの円の間に緋色の点の印をつける。次の 3 つの輪はユリウス暦に基づく月日である。3 つのうち最後はグレゴリア暦と同様にほられた。しかし 31 図において、渡したジュリアン方式を忘れており、32 図でグレゴリ暗方式も忘れている。機械の黄銅面上で、銅色の目盛がつけられている。それは主軸や柱上で惑星(銀の球に相当する)を運ぶ。それは黄道面の高さまでもちあがる。そしてハンドルやプラネタリウムで回れ右をすることによって、すべての惑星は真ん中の小さな金色の球からの距離に比例して動く。それは太陽に相当する。そし

て周期と同様に回転している。青い鉄鋼の目盛が取り付けられた。それは銀の輪や円の区分によって惑星の経度を示していて、それらはぐりと回っている。しかし同心上のえんはただ距離だけを意味している。離心率を考えた正しい起動は表の周期としてそれぞれ円の外側に彫られている。回転をより近くで示していることはいくつかの機械によって行われることが可能である。

北極や南極の場所で **Nodes Apbelia** はその軌道上に印をつけられた。距離は互いに正しい比率である。同様に惑星の大きさは互いに比例している。惑星の直径は軌道の直径に比例するべきということは期待できなくなった。なぜなら木星の直径を 3 インチ以下とすると、地球は機械で 1/4 インチより小さいはずである。それは 3/4 マイルの大きさのシステムが必要となるだろう。土星の軌道は 9000 フィートであり、それは機械を 3000 倍大きくしなければならない。そしてもし私たちが機械で天体に適しているとすると天体は 3000 倍小さくなるべきである。それは太陽を 1/100 以上小さくするだろう。理由として、私は私の惑星上で太陽に相当する十分な大きさの球を置くことが出来ないからである。しかし、私たちは太陽(惑星上で)を銀色の輪の内側の円と同じくらいの大きさと仮定する。それは黄道に相当する。

現在オーラリー(多くの人たちが呼んでいる)では互いに軌道の正しい割合や惑星の大きさは正しい比率ではない。

月の軌道を基準とすると、木星や土星の軌道は惑星の軌道の割合の中で消え去ってしまう。さらにそれらの衛星も同様である。しかしながらこの機械の位置では置かれていない。しかし土星の輪は土星に組み込まれている。土星の割合や傾きによると惑星は輪とともに回転しており、輪はいつも天空中に平行で動いている。それによって私たちは土星が 1 回転する間に地球の住人が土星の輪が開いている上体を 2 回見ることが出来るのはなぜか知ることができる。第 1 図で、土星が輪をもっていないように 2 回見えるのは輪の端が地球に向いてるときであり消えてしまう、つまり見かけ上の増減がある。

第 2 図は木星の帯や点に相当しており、それによって木星の回転は観測された。観測者が惑星の大きさを比例できる機械で十分長く観測をしたとき、木星や土星は取り外される。そしてその時衛星をとりつけるために(そして同じときに月は地球に組み込まれる)木星土星は元々の 1/3 の大きさのものが取り付けられ、どのように衛星が惑星に伴って太陽の周りと回っているのかを示す。その衛星は真珠で支柱の上にあり、惑星のまわりとからくりじかけで回転するわけではない。ただ取り付けられているだけである。なぜならそうすることには無駄なコストがかかり大きさや距離、軌道の傾きについて間違った考えを与えるだけであるからである。しかし木星やその衛星、土星やその衛星の正しい考えも表現されている。そしてこのシステムで木星は直径約 1 インチではあるけれども木星のもっとも外側の衛星は木星の中心からこの機械上で土星太陽間の距離と同じくらいの距離に位置する。それは正しい距離ではなくオーラリー上での木星のまわりをまわる衛星の不釣り合いさを示している。土星の衛星は誤って設置されている。なぜなら 4 つの衛星は土星の軌道上に大きく傾いている。(30 度以上の角度をもつ)そして 5 番目は土星の軌道と同様にほぼおなじ水平面の軌道をもつ(全プラネタリウムの直径よりも大きな直径をもつ)土星は土星のプラネタリウムの 1/3 ほどである。

次に行ったことは示すための発明品である。プトレマイオスの仮説(留や逆行と呼ばれるもの)で惑星の動きの混乱を説明することは正しくない、しかし見たところコペルニクス体系もしくは正しい世界のシステムであるようだ。そしてこれは 2 つの鋼のメモリによって構成されている。その 1 つはいつでも太陽に適用しており、惑星のとりつけられた棒によって調べられる。しかしもう一方は機械のハンドルを動かすことによって地球または前述した惑星に応用される。惑星の太陽中心の場所や地球中心の場所は黄道面で同じように見える。地球から見たとき惑星が後退したり、前進したりするように見えるのはなぜかを示している。しかし太陽から見られているように彼ら(惑星)はすべて規則正しく西から東へ動く。

惑星の軌道の傾きを動かして見せることや銀色のボールを取り外すことは以前の惑星に相当している。金色の真鍮の

ワイヤーの軌道に固定された支柱が設置され、支柱に相当するものによって軌道が設置され、軌道が彫られており機械の高いところの水平面に彫られている。一段上や下に置かれているということはより上の惑星は黄道面に描写されているということである。2つの反対側のワイヤーの円状の部分は黄道面上にある。正しい太陽からの距離にとると遠日点、近日点はそれぞれの軌道に A と P とが彫られている。例えば木星軌道で 2 つの同じ大きさの市中は軌道を維持するためと（記号が入る）の穴に立っている。それは交点内にあり、少し高い支柱は NL(北)にあり、少し小さいのは SL(南)である。とりまいている市中の頭は木星に相当する。ほかに 4 つのボール二つ(1 つは遠日点、もう 1 つは近日点)の違うワイヤーをもしくはあるときの惑星の経緯度を示している場所に移動できる。太陽や惑星の中心は同じ時間の太陽中心の軽度を示している。黄道の角度上に立っている円弧は動かすことが出来る。目盛りはそれの上下にあり、太陽中心の経度を示している。地球中心の経緯度は目盛りが地球にきたときに同じ方法で表されている。そのほかの 5 つのワイヤーの軌道は同じ方法で取り付けられている。また 2 つの目盛りはペアのコンパスのように開いている。その中央の穴は地球の脚に一致する。水星や金星軌道を含む脚は惑星のところを現して、それは円弧上を進むのを示して、脚の角距離(角度で表した二点間の距離。観測点の二点それぞれを直線で結んだときのその二直線のなす角度)を測る。

注)水星の最大離角は 28° 、金星は 48°

放物面で曲げられたワイヤーがあり、彗星軌道より低い部分にある 3 つの柱に支えられている。そのように見えるほど遠くにある。それぞれの柱のてっぺんはそのときの彗星を表している。銀のワイヤーは近日点上で彗星を表している。一番大きいときに彗星の尾を見ることができる。

木星の衛星の食を観察することは天文学でもっとも利用価値がある。私は木星の各々のシステムを作った。木星の衛星は距離大きさに関わらず機械に適している。木星に関して衛星の周期は示されている。車輪装置は太陽を除いて水星、金星、地球、火星を運び木星のシステムに属する車輪装置を入れ(それぞれ 1 つずつとりはずすことが出来る)車輪のいくつかは以前のプラネタリウムの中にある。木星やその衛星の動きを手助けする方法であった。もしそれらをテーブルに設置するとあなたがウィンチを回転させることで衛星がいつでも現れ日食を観測できる。プラネタリウムの一片の角で 3 つのハンドルや目盛りをもつダイヤルがあり、それはこの目的においてハンドルの 1 つは私たちの時間や木星の時間(これは回転軸を 24 分割にしている)における軸についての木星の回転の時間を示している。次の目盛りは多くの衛星の動きの時間を示す。3 つ目は日を示している。

ランタンを太陽に見立て、ハンドルを回すことで動く木星やその衛星を見ることによって、実際に動いているものを見ることで次の事柄を知ることが出来る。

1. immersion は衛星が木星の影に入る現象
2. 衛星の出現は影の外側で起こること
3. 出現や消失
4. 影に入る前か出て行ったあと衛星が木星に隠されること
5. 衛星が木星に交わるだろうということ
6. 衛星は木星で食が起こるとき表面の一部が影で隠れること
7. 他の衛星の食

一般的なシステムという点で多くの人がプラネタリウムによって多くの事柄を見ることが出来る。太陽の現象の表現において他の点で月や太陽については他の機械があるべきである。私は変更が必要なトラブルがあったため上で述べた機械を変更することを考案した。

図 32 太陽、月、地球だけのプラネタリウムを表している

1. 柱に設置されている黄道は前のものよりも約 2 インチ(約 5cm)持ち上がっている。
2. 柱を含む機械の表面は磨かれた黄銅の変わりに青く塗ってある。空の青色はとても遠くにある青色のアーチや天蓋ではなく、地球の大気に依存している。
機械内でこのプレートの下の時計仕掛けは機械のほかの部分に固定され、以下の動作が実行される。
3. 太陽(直径 2 インチ(約 5cm)の銀色のボール)は 25 日 6 時間で西から東を軸周りに回っている。ハンドルを 1 回転させると 1 ヶ月経過する。目盛りによって 1 時間ごとに印をつけられ、地球の軸の下で分けられている。
4. 留められた年周運動、地球(その中心は太陽と同様に惑星の黄道面にある)は軸上を太陽時 24 時間で回転し、西から東に $66 \cdot 1/2(66.5)$ 度傾いており、この傾きは変化しない。地球は 1 回転 23 時間 56 分で回転している。同じ時間で東から西に 1 年間動いている。その移動の軸は平行である。

現象は軸まわりの地球の回転についてだけ説明される。

地球はここで直径 1 インチの銀色のボールで表現されている。地球についていくつかの軌道が描かれている。2 つの極圏(南極圏、北極圏)、回帰線、赤道、黄道、ロンドンに平行な本初子午線、本初子午線は他のものよりも深く掘られている。その場所は北緯 $51 \cdot 1/2(55.5)$ 度強い場所や点によって表現される。高く、曲がった f、k、g はワイヤーのアーチは三日月のようなプレートがつるされている。47 度に満たない軸は地球の軸とはぶつからないだろう。このプレートの星は地球の中心を通り過ぎ、太陽面に対して太陽から地球へと向かってきて、太陽の光に対して垂直であり、地球には暗い部分が存在する。私はその境目を太陽地平線と呼ぶことにし、東と西を示す W、E の印をつけた。

2 つの支柱や m と l のワイヤー上で太陽の中心から地球へと描かれている線は地球上の太陽光を分単位まで表現するため固定されている。

目盛り h は黄道上で地球の場所を示す。また太陽の場所を示すための(小さな太陽が彫ってある)目盛りがある。

青いプレートにある地球をまず目盛りで示された山羊座の方に持っていく必要がある。北極は太陽に向けられており、地球の軸を通過する惑星は D のダイヤルプレートが XII の場所にあるときは太陽の中心を通過するだろう。これは北半球の地球を現している。次に太陽の目盛りを 6 月 10 日のかに座のほうに向ける。このときあなたは 1 年でお昼がもっとも長いときのロンドンの状況を得ることができる。南に顔を向けるともっとも高い位置で目の前に太陽を見ることができる。

今、静かにハンドルをまわすことによってロンドンを表現した地点や住人の状況は東へまたは右のハンドルのほうへ運ばれていくだろう。ロンドンが地平線の東側へ運ばれていくとき、あなたは D のダイヤルプレートと地球の軸上の目盛りを見ることで日没の時間を知ることが出来る。さらに回転するとロンドンは地球の影の部分へと動くだろう。ダイヤルプレート上で目盛りがもう 1 つの XII にくるとロンドンは真夜中になる。つまりあなたがハンドルを回転させるとロンドンは W のとき地平線の下へ行ってしまう。目盛りが日の出の時間を指し示しているとき地球にいる人は彼の左手から太陽がでてくことに気づくだろう。あなたは軸周りの地球の回転について観測するだろう、太陽の光はかに座の回帰線を指し示している。これは 1 年中起こるだろう、地球に年周運動がなかったら、季節変化や日の長さに変化が起こらないだろう。観察すると、地平線はいくつか平行に分けられていて、北極圏と南極圏の間にある(赤道を除く)すべてが昼と夜が一樣ではないと気づくだろう。前者は赤道の北側にあり、後者(地平線の前にあるような)は赤道の南側にある。この

状況で北極圏は常に地平線の太陽のそばにあることを教えている。南極圏のすべての場所は暗闇に包まれ、1年中日中でも春、夏でも不安になるような変わらない暗闇と冬のような状況を作り出す可能性があるにもかかわらず地球は毎日自転し続ける。

今、年周運動を再現し、ハンドルを動かすことで、地球に相当するボールは地球の動きに忠実に動き2つの動き次第のすべての現象に相当するだろう。

一番目に、地球自身の軸を回転させ続けながら、記号の順序は黄道の記号や角度のすべてが連続的に記されている目盛りによると1日西から東への大きな軌道で動くだろう。太陽も西から東の同じ軌道で動いていると思われている一方で、それはかに座の最初の位置に取り付けられているように見える。ちょうど地球が山羊座の最初の位置にいるだろうということを太陽の目盛りi(図32でおうし座をすぎたところ)が明確にする。

今、地球の年周運動において、軸はいつも地球に平行であり続ける、その状況で太陽は常に変化し続けなければならない。前述の軸は水平面を通り、DのダイヤルプレートのXIIは太陽の中心を再び通るだろう。一度左側に行ったとき、半年が過ぎる。それから地球の北極(今までは一番太陽に近い)は太陽から最も遠くなる。注)地球において、北極星に関して、軸は決して変わらない何故なら地球の軸の直径は一定の星の距離の1/400000ほどで私たちから太陽までよりも遠い、したがって視差は1秒角である。

二番目に、地球が黄道上を動いているとき北極圏は次第に地平線より下にいくのがわかる。地球はおひつじ座に重なる(太陽はてんびん座に重なる)とき地球の緯線は昼と夜を等しく分ける。そしてこれは春分と呼ばれる。地球の昼と夜がどちらも12時間になる、これは1時間ごとに区切られているDの目盛りで見ることができる。そしてどちらの極も太陽光線と同様に地平線に太陽があり、かに座の回帰線と赤道の間のすべての類似点を指摘した後、赤道に印をつけ、(ハンドルを回す)すべての部分は連続的に垂直な太陽の光と熱を受ける、プトレマイオスは赤道にいる太陽をこのように呼んだ。

ハンドルを回し続けることで、地球は次第に動いていき、太陽の地平線は日々がどのように続いていくのか昼がどのように減少していくかを示す。北極圏を含む空間全体が太陽を隠し、それが太陽の地平線に近づいていくとき、地球はかに座の最初の角度に位置する、それはその空間に位置するすべての国に昼が訪れないことを示す。南極圏を含む国は今太陽の出ている部分に位置し、夜は訪れない。今、太陽光は山羊座の回帰線を示している。地球の自転によって、太陽は表現されている。山羊座で太陽の目盛りは12月11日を示し、ロンドンの昼が最も短い。地球がてんびん座に重なり(太陽はおひつじ座に重なっているように見える)太陽の地平線が昼と夜で等しく分かれるとき、北極圏と南極圏は太陽の地平線の面にある。地球が動き続けると、北極圏は太陽の向こう側に行ってしまう、その結果地球が山羊座の5度の位置にくるまで北半球で日中の場所が増え、赤道の向こう側へ日中の場所が減る。その後地球の軸は元に戻っていき、最初に戻る。

三番目に、地球と太陽の地平線を取り除き、もうひとつの地球を取り付ける、この地球は直径3インチで、その中心は赤道面にある。この地球は経度と(住人に相当する)ピンがあり、太陽は数人の住人に垂直にあるとき、住人を移動させると、太陽光が多くなったり、少なくなったりする。そのとき季節変化はどのように起こるかを示す。太陽光は同様に太陽の赤緯や球の経度を示す。

四番目に、この球を取り外し、別のものを取り付ける。これは直径2インチで、象牙で出来ており、世界地図が彫られている。太陽光に対して垂直な範囲と垂直な範囲、平行な範囲の現象を見ることが出来る。出没方位角があるかどうか、北のほうか、南のほうかどうか、他の場所との経度の違い、これによって日の出と日没がいつかということを知ることができる。

五番目に、小さな地球を再び取り付け、山羊座の1度、太陽に向かってロンドンと同じ緯度の時間の目盛りをXIIにする。それから私たちは太陽の軸とロンドンの子午線と同じ北極星(無限の距離にある)と太陽の中心に沿った面について考える。今、年周運動を表現すると、地球は軸周りには動かない。ハンドルを回転させるたび、ロンドンが移動して元の場所、北極星の面に戻ってくる。これは恒星日と呼ばれる。このとき太陽は地球の軸と北極星と同じ面にあり、太陽日と恒星日は同じだろう。何故ならロンドンの子午線は北極星のところに來るときに同じときに太陽の中心にやって來てくる。しかしこれは地球の中心が静止しているときによるもので、事実とは異なる。したがって本当はどのようなことが怒っているのかを知る必要があるので年周運動を取り入れなければならない。それからハンドルを1回転させるのではなく地球の軸を1回転させる。あなたがロンドンの子午線を見てみると、太陽光が届いていないのに気づくだろう。太陽日にするためにロンドンの子午線(恒星日で公転していた)に太陽光を向ける前にハンドルを少し遠くへ動かす必要がある。太陽日は恒星日より4分長い。したがって地球は軸周りに23時間56分回転するが、正午や南に太陽がある多くの国はもう一度正午になるのに1回転よりも多く回転しなければならない。恒星日と太陽日のこの違いはわずかで、1回転でそれを認識するのは簡単ではないが、もし私たちがハンドルを15回転させたら、その15の違いは次のように表現される。ちょうど15回転させた後、その面は地球を通過する、そして北極星は太陽のはるか遠くの左側に行く。太陽光はロンドンの子午線の点の代わりにただそこを指し示す。それは以前よりも早く、1時間分以上東側にある。下にある時間のハンドルは恒星日のXIIを指し示している、しかし太陽の中心を指し示す前にハンドルをIのほうへ持っていく必要がある。もし地球が年周運動の1ヶ月分動かされたら、時間の目盛りがXIIで、太陽時の正午のとき恒星時は2時、3ヶ月後は6時、6ヶ月後は12時になるだろう。もしくは恒星時で正午のとき、太陽時の午前12時で、6ヶ月後の太陽に近い星(太陽が完全に日食のとき太陽ぐらい目に見えるが、その光は太陽に飲み込まれて見えない)は真夜中に見ることが出来るだろう。9ヶ月後、時間の目盛りは太陽に向かって18時を示していて、12ヶ月後、もしくは地球が1年間回転した後は、24時間、つまり1日分ずれが生じるか、元に戻る。

六番目に、地球を山羊座の5度の位置に持っていく、太陽光を取り外す。太陽に小さな目盛りを取り付ける、これは自転する時間を私たちに示すものである。太陽の目盛りをロンドンの子午線に向けるか、XIIの目盛りに合わせる。25回転と1/4回転させた後、太陽の目盛りは地球の中心を指し示すが、ロンドンの子午線と時間の目盛りはXIIをすぎてVIに行っている。これは太陽の自転の絶対時間を示している。年周運動を加えると太陽の目盛りは地球の中心を指し示し、それは山羊座の5度の場所である。ハンドルを $25 \cdot 1/4$ 回転させるとあなたは太陽の目盛りが地球の中心に至っていないことに気づくだろう。(山羊座の1度の位置を指し示し、地球が遠ざかり、太陽が自転したように見えるのにも関わらず)これは地球が動くことを信じていない天文学者が太陽黒点を観測することで、黒点が地球から見て太陽の同じ面に見えてから次見えるまでの期間、27日かけて太陽は自転していると推測したためである、しかし実際の太陽の自転は2日短い。

七番目に、ピンや太陽の表面の目盛りを取り外し、地球を山羊座の5度の位置に戻す。それから月の軌道上でa、b、cを月の支柱に取り付ける月のe、dを置く。これは小さな銀色のボールに相当する、その直径は(実際の自然界の天体の比率によると)地球に相当するボールの2/7で、平らな方の月が普段見ることが出来る側であり、でこぼこの側は普段決して見ることのない側の月である。地球に対して平らな側を設置し、正確に太陽と地球の間に位置する。新しい月の時間で、ハンドルを回す。あなたはまず27と1/3回転で月は自身の軌道上を回り、同じ場所に再び戻ってくるのを観察するだろう。これは月の周期が約27日と8時間であるということを示す。次に月の同じ側はいつも地球のほうを向いて回転している。ボールのでこぼこの半球はいつもその反対側にある。三番目に月はただ1回転する間に地球の周りを1回転

している。四番目に周期的な月日は会合周期と同様だろう。もし地球に年周運動がなかったら、月の回転は新月もしくは満月から始まり、次の新月もしくは満月までだろう。だが一方自然界では、月の周期(もしくは周期的な月日)は 27 日と 1/2 日に満たないだろう、しかし会合周期もしくは新月から次の新月までの時間、満月から次の満月の時間は約 29 日と 1/2 日である。何故なら、1 回転の時間で、地球は黄道上で遠くにいてしまうので、月が地球の周りをちょうど 1 回転するとき、月は太陽と地球の中心の線上にはいない。これは機械によって簡単に示される。もしあなたが地球を山羊座の 5 度の位置に持っていき、月の場所を地球と太陽の間にし、年周運動をさせ、ハンドルを 27 と 1/3 回転させたら、地球は黄道上で遠くへ行くだろう、月(周期は正しいにも関わらず)は太陽の線上にはまだいない。しかしもしあなたが太陽と地球の間の上と太陽と山羊座の 5 度の場所の間の上に紐を持っていたら、あなたはその 2 つの紐が平行になることに気づくだろう。しかしもしあなたが 2 回転よりちょっと多くハンドルを回したら、あなたは月が地球と太陽の間に再び戻ってくるのを見るだろう。そして黄道上での地球の場所は 29 日半であることを示すだろう。

八番目に、地球をかに座の 5 度の位置に戻し、黒いふたを取り付ける、これは月に付属していて、太陽の反対側の e のそばにある。地球と太陽の間に月を持ってくる、これは新月である。そしてハンドルを回すと、月は地球の周りを回る間月の面は連続的で、地球が月を伴って太陽の周りを回っている。最初に地球の影に相当する黒のふたは月の半球をすべて覆いつくす。これによって私たちが見ることの出来ない新月がやってくる。その後ハンドルを数回転させた後あなたは黒いふたの下から白い月の半球のわずかな部分が見えてくることに気づくだろう(これは影の外ではない)。ハンドルを動かし続けると、三日月、下弦の 1/4 の月、半月になり、7 回転してもまだまだふたの下から出てこられず、14 と 3/4 回転したところで白い半球が完全にふたの外に出て、地球が太陽と月の間にいるとき満月の現象が見られる。あなたが回転させると、月の面は徐々に再び新月になるまで減少し続ける。そして今上記の現象は天であればいつでも見られるかもしれない。

九番目に、太陽を取り外し、その場所にプラネタリウムについているランタンを取り付ける。それは 2 つの凸面鏡があり、太陽による地球と月の食の現象が明らかにされた。部屋を暗くして、それからあなたは昼と夜という現象、季節変化、上で挙げた月の減少を見るだろう。部屋を明るくしたり暗くしたり出来ないときは太陽の地平線や月の黒いキャップを使っている。

住人に見立てたピンを刺した先ほどより大きな地球を使うことによって、あなたは地理学者が影について地球の住人に関して言っているのを見るだろう。彼らはそれを *aseii*、*amphiscii*、*heteroscii* と呼ぶ。あなたは *anteci*、*perieci*、*antipodes* の日や季節を比較するだろう。同様に(銀色の地平線と象牙でできた地球を使うとき)あなたはどのように太陽が地平線から昇ってきて、沈んでいくのかを見る。

月の 2 つ目の明かり(それは地球からの反射で、月の暗い半球の部分ができ、地球はわずかな発光を受けている。晴れた天気の日であれば、三日月や月が欠けているとき(または時々新月のとき)、私たちはこげ茶色の月の円盤の残った部分を見るだろう。これはランタンによって明るくなっている。

食の現象を示すために、まず、小さな地球と枝分かれした月、ランタンを設置し、あなたはどのように月が地球と太陽の間を通るかを観測する、地球の一部に影がかかり、その住人はその場所で太陽の食をすべて見ることができ、影が通り過ぎた後は半影になる。満月のとき、地球のほかの場所を通過すると、地球が邪魔をして光が届かなくなる。これは月が地球の影を通っているからである。

私のプラネタリウムで、次の変更を加えることによって、食の時間と量の点において私は月の軸の正しい傾き、動きを

示し、結果として真の現象を示す。

私は地球と月を取り外し、**n** と **p** の銀色の輪(これは 19 箇所に分けられ、これは 19 年に相当する)取り付け。私は金箔で装飾されたワイヤーの軸の支柱を設置し、それを傾けた。2 つの小さな月は小さい地球と同じくらいで、軌道の大きさの比率も等しい。新月のときに地球の前に白い小さな紙を置くことで、地球と月の影は太陽の食が起こっているかどうかを示す。食が起こっていれば、部分食であるのかすべてなのか、期間は長いのか、短いのか、北側で起こったのか、南側で起こったのか、を示す。同様に、満月のとき、月の前に **s** 紙を置くと、あなたは月の食が起こっているかどうかを見るだろう、また食が起こっていれば上記したことが起こっているかも知る。

十番目に、視差がどのようなもので、どのように観測されるかを示しているものがプラネタリウムに取り付けられている。太陽と恒星の距離が年、月、日でどのように変化するかを調べようとしたが、この方法では十分な成果は得られなかった。しかし月については正確にわかり、海面での経度もわかった。月の理論が確立したとき、月が恒星に接近することでどんなことがわかるようになったかを示した。

私はまたプラネタリウムの上に *celidography* を示す追加の部分を発明した。それは金星の昼と夜や季節といった現象を示すもので、24 日と 8 時間で自転し、自転軸は 15 度傾いていて、垂直な太陽光に相当するワイヤーがある。ランタンを太陽の代わりとして置く。しかし私は他の天文学者が *Signior Bianchini* の新しく素晴らしい発見を確認するまで私のプラネタリウムに追加の機械を修理することを控えた。

太陽光による惑星や天体の姿を機械的に示す機械は比例した時間を描写している。私は 5 講(p.424)で注釈をし、私のプラネタリウムを正しくするため、ここでそれについて描写することに決めた。

プレート 29 の図 7、8 を見てください。

図 7 は 4 つのねじが留まった木製のフレームの表面または時計仕掛けのケースに相当する。ETFV は銀色の丸いプレートである。それは 88 の目盛りに分けられ(88 は水星の公転周期の日数である)H と G はハンドルで、G と E は目盛りである。IKp PLM は銀色の楕円のプレートであり、先ほどの丸いプレートと同様の日数に分けられ、天体に見立てた真鍮でできたボール P が動くための溝がある。S はある焦点での太陽に相当する、L は近日点で、I は遠日点である。SO は鋼の目盛りであり、天体 P を通る。目盛りの SP の部分は太陽の S と惑星の P であり、動径に相当する。それは徐々に短くなっていき、惑星は遠日点から近日点を動き、徐々に長くなっていき、近日点から遠日点へ動いていく。目盛りの PO は惑星を越えて、OQRIN で描写された円の終わりの O は天文学的な考察に影響がない。もし惑星(例えば水星)が太陽と同心の円軌道で動くとき、同じ時間で同じ場所を描写出来ないが円弧は同じだろう。それから、ハンドル H を一様に回転させることで、目盛りの終わり E は本当の惑星の動きに相当する。しかしもし惑星が太陽の焦点を中心とした楕円軌道に動いたら、近日点は遠日点の 6 倍近い。遠日点 I から移動した惑星は IK の方角に動きが加速するだろう。L から PL は M から I へ動きが遅れていき、回転の速度は変化し続けている。同じ時間で同じ範囲が描写され、以下のように示される。I へ移動する惑星 P は目盛り GE に位置している。それから、ハンドル H で E から T へ目盛り 10 度分動き、あなたは同時に楕円軌道の惑星は I から K を 3 と 1/3 ままで分けた部分まで移動することを知るだろう。SIK の面積によって SI から SK まで移動する動径が描写される。それから楕円軌道の近日点 L にある惑星(ハンドル H で回転することによって)の動径は SL へ移動する。そして、時間に相当するプレートの円軌道の目盛りがもし F(44 度)から V(54 度)へ動いたら、惑星は L から円弧 LM まで、20 度移動するだろう。このとき先ほどより 6 倍速くなり、SLM の面積は SIK よりも大きくなり、SL は SI よりも短くなる。SLM の面積と SIK の面積は等しくなり、惑星の速

度は距離に比例している。楕円の曲線を含む任意の中間の部分、例えば丸いプレートの目盛り上で点 p が 10 度動いたら、惑星は楕円弧 pP を通り、面積 pSP を描写する動径は前の面積と等しい。

機械の発明を示すため、私たちは図 8 のように上部のフレームを取り外そう、丸いプレートと楕円のプレートがあり、惑星のハンドルと目盛りはその場所を示すために線で表されている。台 VG 下で、2つの楕円形の QT と ON が台の端にある溝に腸線によって相互に動き、その腸線は K を通り過ぎる。その楕円形の部分にはそれぞれの焦点 SI が軌道上にある。太陽と動径は S 上で固定されている。楕円 NO は楕円 QT の円周の部分であり、 NO の中心 I の場所に位置するハンドルは IK 、 $I4$ 、 $I3$ 、 $I2$ 、…というように I からの距離に対応しながら、速度を変えて運ばれる。線画で表される現在の状況下で、近日点での惑星 P の速度が最も大きい。 SK は PS と等しいため、 P は点 K の速度があり、それは最も長いレバー IK によって動く。しかし、楕円 NO が半回転したとき、楕円 QT で点 V はレバー Ii で動き先ほどよりも遅くなる。動径が動いている惑星は遠日点で点 I を通り過ぎて、それは $1/3$ の速度である。楕円の異なる状況の残りについては図をよく観察することでおそらく思いつくだろう。2つの歯車の数(数がいくつであろうと)が等しいので、歯車は機械の表面(図 7)で前記した距離の円や楕円のままにしておくため、また、惑星や同じ方角のプレートの目盛りを与えるためだけに使用される。

注 機械上で木製の楕円形と楕円形の銀色のプレートは類似であるべきである。私は惑星の軌道における現象のみを表現したが、彗星の軌道を追加するには機械の限界を超える必要があった。

プラネタリウムの説明を終わる。