

23 ガリレオ衛星の運動

1 研究の動機

今年2005年はアインシュタインの相対性理論誕生100周年を祝って「世界物理年」の行事が行われている。

8月7日、焼津のディスカバリーパークへ行った。世界物理年の行事として相対性理論を展示していた。アインシュタインの理論をもとに現代の天文学者たちは宇宙の謎を追究している。

また7月に人工衛星ディープインパクトが彗星にインパクトを打ち込んだ。この研究で太陽系の謎がわかると期待されている。

僕もガリレオ衛星を調べ、太陽系について考えてみようと思った。

2 研究の目的

- (1) 木星の衛星の動きを観察することで太陽系の惑星の動きについて考える。
- (2) 世界物理年にちなんでガリレオ、ケプラー、ニュートンと太陽系惑星の天体観測から生まれたニュートン力学について考える。

3 木星とガリレオ衛星

(1) 木星とは？

ア 見える方向と高度

8月は夕方暗くなると南南西の空に見える。19時頃の高度は約30度、20時30分過ぎには沈んでしまう。(図1)



図1 木星の見える方向と高度

9月、10月は太陽に近いいため観測できない。今が観測の最後のチャンスである。

日時

8月7日

19時42分

場所

ディスカバリーパーク

屋上

イ 太陽系の中の位置と大きさ

太陽系の9つの惑星のうち内側から5番目の惑星であり、太陽系最大の惑星である。

(2) ガリレオ衛星とは？

木星には63個の衛星がある。この中で4つの明るい衛星は小さな望遠鏡でも観測できる。1610年にガリレオによって発見されたのでガリレオ衛星という名がついている。(図2)

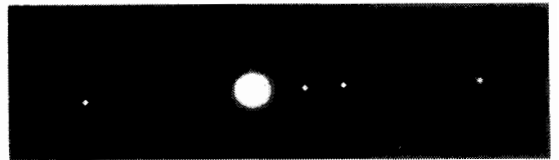


図2 ガリレオ衛星

ガリレオは木星の周りを4つの衛星が回っているのを観測して地球などの惑星も太陽の周りを回っていると確信した。

内側からイオ、エウロパ、ガニメデ、カリストと呼ばれ、衛星番号はそれぞれJ1、J2、J3、J4である。

4 研究の方法

望遠鏡とストップウォッチを使って木星とガリレオ衛星との距離を測り公転周期を求める。

(1) ガリレオ衛星の位置の測定

ア 準備するもの

① 天体望遠鏡

- a 口径20cmニュートン式反射望遠鏡
- b 架台は赤道儀。地球の自転で星は東から西へ日周運動をしている。極軸を北極星に向けてセットしスイッチを入れるとモータが動いて極軸の周りを望遠鏡が回り星を追いかける。(図3)

② 十字線入り接眼鏡(図4)

倍率=主鏡の焦点距離÷接眼鏡の焦点距離=905÷9=101倍

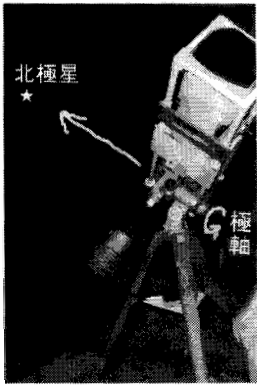


図3 赤道儀

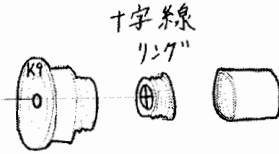


図4 十字線入り接眼鏡

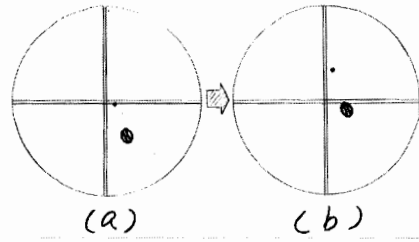


図5
衛星の位置
の測定



- ③ ストップウォッチ
スタートストップボタンを押し測定開始、もう一度押して測定を終了する。
- ④ 観測ノート
- ⑤ 鉛筆

イ 測定の方法

- ① 木星を視野に入れる。
- ② 赤道儀のスイッチを切り木星を日周運動させる。
- ③ 接眼鏡を回し十字線を日周運動に合わせる。
- ④ 十字線に対する木星と衛星の位置をスケッチする。
- ⑤ 衛星の位置をストップウォッチで測る。十字線の縁に衛星がきた瞬間にストップウォッチを押す。(図5 a)
木星の西側の縁が十字線の縁にきた瞬間に押し時間を止める。(図5 b)
- ⑥ 木星本体の視直径も同様に測る。

5 観測データ

次の図の通りである。(図6、7、8、9)

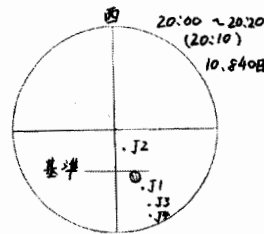


図6 2005/8/10

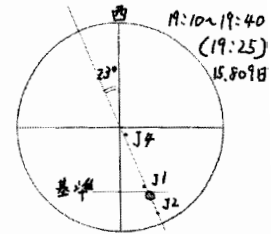


図7 2005/8/15

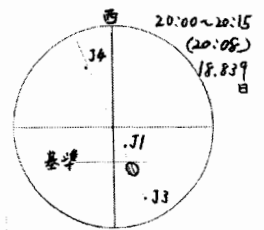


図8 2005/8/18

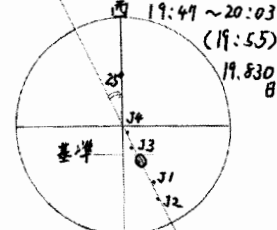


図9 2005/8/19

(2) 分析の方法

- ア スケッチから衛星の公転面と地球の日周運動とのなす角度を測る。
- イ ストップウォッチのデータは日周運動の方向に測った。アの角度を使って、作図から日周運動の方向を公転面の方向に修正し、正しい位置を求める。
- ウ 衛星の位置を木星の半径を1としたときの比で表す。

6 分析の結果

(1) 木星の視半径

木星の視半径を1として衛星の位置をその何倍かで表す。そのため、まず木星の視半径を求める。(表1)

$$\text{木星の視半径} = 2.56 \div 2 = 1.28 \text{秒}$$

表1 木星の視直径

月日	データ(秒)					データ数	平均
8/10	2.58	2.83	2.57	2.76	2.27	12	2.56
	2.50	2.32					
8/19	2.58	2.56	2.49	2.58	2.70		

(2) 衛星の木星中心からの距離

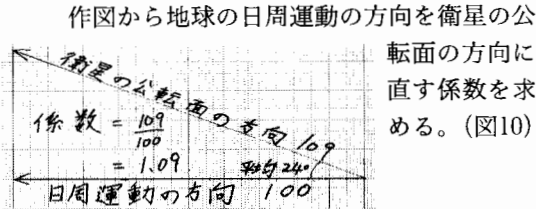


図10 日周運動と公転面の方向

さらに木星中心からの衛星の位置を木星の視半径を1としたときの比で求める。

木星中心からの位置=(データ平均±1.28) × 1.09 ÷ 1.28(秒)……東は-、西は+
観測日時は日の十進数に直した。(表2、3)

表2 計算例=イオの位置

日(日) (十進数)	データ(秒)	方向	データ数	平均	木星中心からの位置(比)
10.840	3.95 4.35 4.72 4.28 4.66	東	5	4.39	2.65
15.809	2.49 2.58 2.98 2.76	西	4	2.70	3.39
18.839	3.33 2.98 2.81	西	3	2.97	3.62
19.830	6.33 5.83 6.63 6.52	東	4	6.33	4.30

表3 ガリレオ衛星の位置

観測日時 記号(十進数)	木星からの位置(木星視半径を1とした比)			
	J1 イオ	J2 エウロパ	J3 ガニメデ	J4 カリスト
A 10.840日	2.65	8.01	12.00	14.94
B 15.809日	3.39	6.45	0.00	27.84
C 18.839日	3.62	0.00	5.61	18.02
D 19.830日	4.30	7.89	5.17	10.27

(3) 木星の衛星の運動図

4日分のデータから衛星別のグラフを作る。縦軸に十進数の日を、横軸に木星中心からの位置をとって点を打ち、滑らかな曲線をつなぐ。(図11、12、13、14)

(4) 衛星の公転周期を求める。

ア 天文年間から衛星の軌道半径(比)を調べる。

イ グラフ用紙に調べた半径の円を描く。円の中心は木星である。

ウ 衛星の運動図を見ながら円周上に衛星の点を打つ。

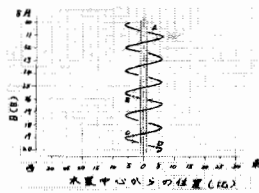


図11 イオ

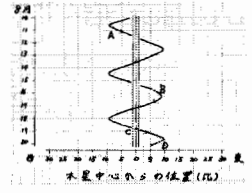


図12 エウロパ

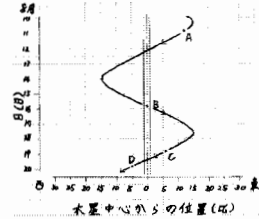


図13 ガニメデ

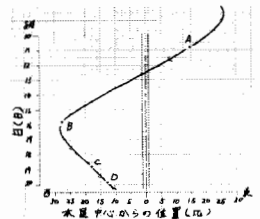


図14 カリスト

エ 円の中心と衛星の点を直線で結ぶ。東を0度とし右回りに衛星の位置を分度器で測る。(図15)

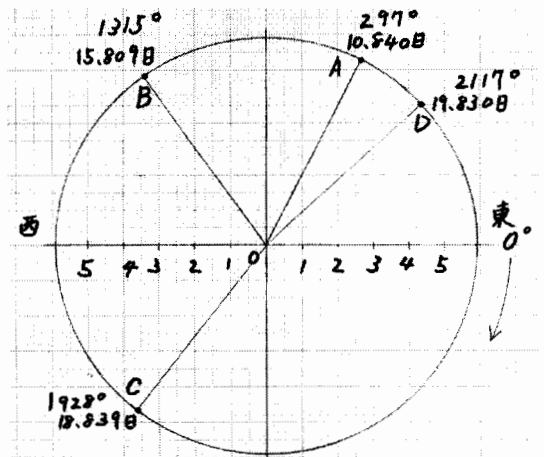


図15 計算例=イオの軌道上の位置

オ 4日分のデータの内の2日分を使って公転周期(日)を計算する。

公転周期=日の差 × 360° ÷ 角度の差
4つのデータから2つ取る組合せが6つあるので公転周期の値は6つ求める。

カ 6つの値を数直線の上に点を打ち、ばらつきを目で確認する。外れたデータを抜き集中した値を平均する。(表4)

区間C→Dは観測日が1日しか離れていないので誤差が大きくなったと思う。

表4 計算例=イオの公転周期

区間	日の差	角度の差	公転周期(日)	0印の平均
A → B	4.97	1018°	1.760	
A → C	7.99	1631°	1.760	
A → D	8.99	1820°	1.780	1.78
B → C	3.03	613°	1.780	日
B → D	4.02	802°	1.800	
C → D	0.991	189°	1.89	

1.75 1.80 1.85 1.90 日

衛星	軌道半径 a(比)	公転周期 T(日)	a ³ /T ²
J1 イオ	5.90	1.78	64.8
J2 エウロパ	9.39	3.58	64.6
J3 ガニメデ	15.0	7.33	62.8
J4 カリスト	26.3	16.6	66.0

表5
ケプラーの
第3法則

a³/T²の平均=64.6
 平均からの誤差=64.6-62.8=1.8
 誤差の割合(%)=(1.8/64.6) x 100=2.8%
 よってa³/T²の値はほぼ一定である。

7 ケプラーの第3法則

(1) ケプラーの法則

ケプラーは惑星の運動を観測して、その軌道運動は3つの法則に従うことを見つけた。

ア 第1法則=惑星の軌道は太陽をその焦点の1つに持つ楕円である。

イ 第2法則=惑星と太陽を結ぶ動径が一定時間に描く面積は一定である。

ウ 第3法則=惑星の軌道半径の3乗と公転周期の2乗の比はすべての惑星について一定である。(図16)

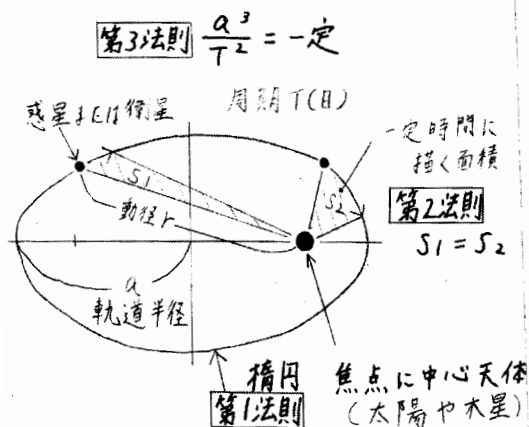


図16 ケプラーの法則

(2) ケプラーの第3法則の確認

4つのガリレオ衛星の公転周期を求めたので木星の周りを回る衛星も同じ法則に従うか確認する。(表5)

8 わかったこと

(1) 木星の衛星の公転面は地球の公転面とほぼ平行であることがわかった。

(2) 時刻と位置の関係をグラフにすると木星から遠いほど大きくゆったりとした波、近いほど小さく細かい波状の曲線になる。

(3) 観察結果から4つの衛星の軌道半径の3乗を公転周期の2乗で割るとほぼ同じ値になった。ケプラーの法則が太陽の周りを回る惑星と同じように木星の周りを回るガリレオ衛星にも当てはまることがわかった。

9 研究後の感想

活火山がある衛星や氷におおわれた衛星などガリレオ衛星それぞれ特徴があり興味深い。

自宅にある望遠鏡でも公転周期をかなり正確に測れた。天文台の値と自分の測ったデータがほとんど一緒でうれしかった。

日を変えて観測することでたくさんの測定値を並べ集中した値を選び平均することで精度が上がることを学んだ。

木星の衛星を観測しながら、ガリレオやケプラーが同じように小さな望遠鏡でりっぱな法則を見つけたことを思うと尊敬する。

10 参考文献

- (1) 天文年鑑2005 誠文堂新光社発行
- (2) 天文の計算教室 齊田博著、地人書館
- (3) 焼津ディスカバリーパーク展示パネル
- (4) インターネット ザ・ナインプラネッツ