

# ガリレオ衛星の画像解析と木星の質量の推定 - 天文施設と大学との連携 -

細谷 一 (上越清里 星のふるさと館)

Picture analysis of Galileisatellite and estimation of Jupiter's mass  
Cooperation of Univers and Observatory

Makoto Hosoya (Joetsu Kiyosato astronomical institution)

## Abstract

Joetsu University of Education and our observatory carried out astronomical training for the students. This time, we illustrated Kepler's Laws by using my photographs of Galilei's satellites. We also calculated mass of Jupiter by using the law of universal gravitation.

This exercise gave the participants a lot of pleasure. They came to know that science itself is interesting and they gradually showed an interest in exploring the mysteries of the universe.

## はじめに

平成 18 年度 上越教育大学理科野外観察指導実習 (9月2~3日) に上記のテーマを取り上げた。本来なら院生自身が写真撮影を行い計測しデータ処理から結果を導き出すのが本来の趣旨であるが、様々な制約があり写真撮影は筆者自身が行った。

ガリレオが木星の衛星の動きを観測して地動説を確信したように、数枚の観測画像から木星の周りを衛星が公転する様子を直感的に把握できる教材である。

もともとこの教材は、2000 年 7 月、ドイツで行われたグローバル・ハンズオンユニバーサリティ会議 (GHOU) においてフランスの女性教師の提案で始まった。コンピュータとネットワークを利用した天文学のカリキュラムの 1 例である。

現在は、アメリカ、フィンランド、ドイツ、日本、スウェーデン、フランスの 6 カ国が参加している。日本では、埼玉、東京、和歌山、長野、岡山、奈良、群馬等観測が行われた。国際協力をすることによって木星の衛星の動きが地球の観測地点の昼夜に関係なく連続的に分かるような撮像が試みられている。

## 上越教育大学の試み

国立大学が法人化になって以降、大学も目標を決めその成果が問われることになった。できた。

地元の上越教育大学でも、実践力に富む教員の養成や教育現場の課題の解決のため、臨床コースを新設する等改革に乗り出した。

その一つが、理科野外観察指導実習 5 単位の開設である。主に生物・地学分野を中心に 1泊2日の実習を中心に行うもので大学院生及び現職教員を対象に行っている。

実習を通して、野外観察のあり方、素材の研究や提供、運営方法や指導方法等実践を重視した実習である。

具体的な実習は、食物連鎖・森の楽校・川の楽校・ミクロの世界・身近な植物・化石を読む・火山とマグマ・大気を調べる・星の 1 日・自然の見方の 10 講座である。

この全実習終了者には、大学独自で第 2 種野外観察指導員の認定を行うほか、理科野外観察指導をテーマとした修士論文を作成した人には、第 1 種野外観察指導員を認定する。

## 本館での実習

すでに述べたように、木星の衛星の連続写真の撮影が、一番基礎データとなる。写真撮影は、当然天候に作用される。晴れて木星が出ていればそれでいいというわけにはいかない。例えば第 1 衛星が木星から最遠になる日に晴れていなくてはならない。もし撮影が出来なければ、8 日後 (公転周期 16.7 日) ということになる。

第 2 衛星の場合には 1 晩の連続写真 (公転周期 1.7 日) も必要になってくる。このように一番基本的な観測データの収集が一番重要である。

次に今回の受講者は、例年と同じく院生と現職教員で参加者は 12 人であった。昨年参加して今年も参加した者もいた。この実習には 6 時間をあてた。

**-1 ケプラーの第3法則をガリレオ衛星の写真から求める**

2006年4月～6月にかけて、木星の衛星（4大衛星で別名 ガリレオ衛星ともいう。内側から Io（第 1）、Europa（第 2）、Ganymede（第 3）、Callisto（第 4）衛星）の写真撮影した。また文献（略、天文年鑑 2006 P133）の波状曲線はその運動経路を示している。中央にある幅の狭い平行線は、木星の位置と大きさを示し、任意の時刻における衛星の位置を示している。写真も波状曲線も衛星の東西方向の位置を示していて南北方向は不正確である。

**準備**

コンパス 定規 分度器 ノートパソコン（エクセルを使う）

**方法**

- 1 写真から定規を使って木星の中心から各衛星までの長さを測れ（単位 mm）  
但し 木星本体の右側（西側）にある衛星は+ 左側（東側）にある衛星は- とする。画面にない衛星は、木星に重なってしまって見えない状態である。木星の衛星の並んでいる方向が東西方向で、それに対して直角の方向が南北である。
- 2 パソコンに次のような表をつくり測ったデータを入力せよ

表 1 測定値

2006/5/5	1				
2006/5/9	2				
2006/5/21	3				
2006/5/22	4				
2006/5/25	5				
2006/5/31	6				
2006/6/1	7				
2006/6/5	8				

- 3 5月9日 の写真は、第 1・第 2・第 3 衛星が、6月5日の写真は、第 4 衛星が木星より最も遠く離れている写真と判断した。そこで コンパスで第 1～第 4 衛星までの軌道（円軌道）をトレーシングペーパーにかけ。

表 2 ガリレオ衛星の軌道半径と公転周期（理科年表）

a	42	67	107	188
T	1.7	3.5	7.2	16.7

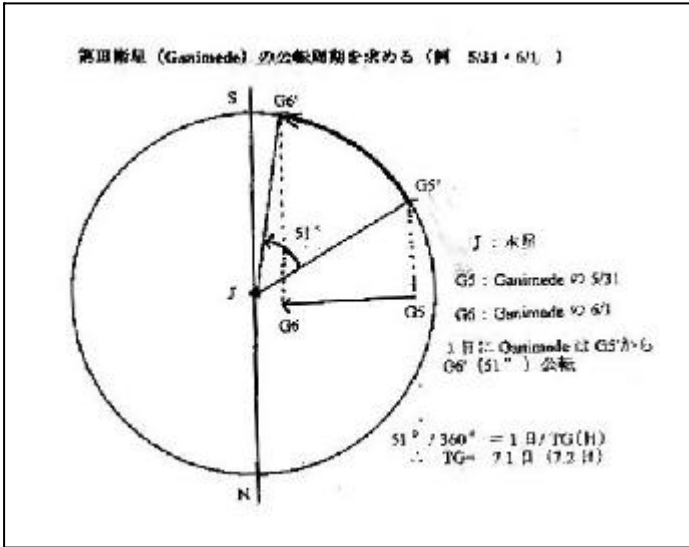
a:軌道半径 (万Km)

T:公転周期 (日)

**写真データ**

星のふるさと館の 15cm 屈赤 (f=1800mm F=12) に 25mm の F4.5による拡大撮影 (倍率 ×72)

カメラ キヤノン EOS KissDigita ISO 800 T=5 ~ 63



4 5/21 ~ 22 の写真から第 4 衛星は、一日の間にどんな動きをしたか。

5 5月21日と5月22日の第 4 衛星 (5/31 と 6/1 でもよい) の写真から第 4 衛星の公転周期を求めよ。写真から読み取ると1日の間に何 mm 動いたか。それは又公転軌道上を何度公転したことになるか (真横 = 赤道 真上 = 北極と考え第 4 衛星の円軌道を描く)。一日の公転角度が求めれば、 $360^\circ$  一回りするのに何日かかるか比例式で求めよ。

図1 第 4 衛星の公転周期の作図

- 6 今第 4 衛星について考えたが、他の衛星についても下記の観測日について、その位置を記入し、その間に動いた角度を分度器で測れ。値は、表3に記入せよ。
- 7 公転した角度から各々の衛星の公転周期を求め、表3を完成させよ

表3 ケプラーの第 1 法則 (A)

	角度	日数	公転周期(T 日)	T <sup>2</sup>	距離 (a mm)	a <sup>3</sup>	a <sup>3</sup> T <sup>2</sup>	観測日
第 1								5/31 6/1
第 2								5/31 6/1
第 3								5/21 5/22
第 4								5/22 5/23

- 8 2で入力した表から折れ線グラフ (グラフウイザード) を使い作製せよ。
- 9 グラフからどんなことが考察できるか。また連続する2日間のグラフで右上がりや右下がりの直線は何を意味するか。
- 10 表2理科年表の値を下に記入し a の3乗と T の2乗の比を求め、互いに4個の衛星が同じ値を示すことを確かめよ。

表4 ケプラーの第 1 法則 (B)

	a(万Km)	T(日)	T <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	a <sup>3</sup> T <sup>2</sup>
第 1					
第 2					
第 3					
第 4					

- 11 T<sup>2</sup> と a<sup>3</sup> とのグラフを描き直線の傾きが 3/2 または 2/3 になることを確かめよ。

## -2 ガリレオ衛星の動きから木星の質量を求める

- 1 写真上で 1cm は、木星の距離では、約  $2.3 \times 10^8$  (m) に相当する。

$$M = ((4\pi^2) * a^3) / (G * T^2)$$

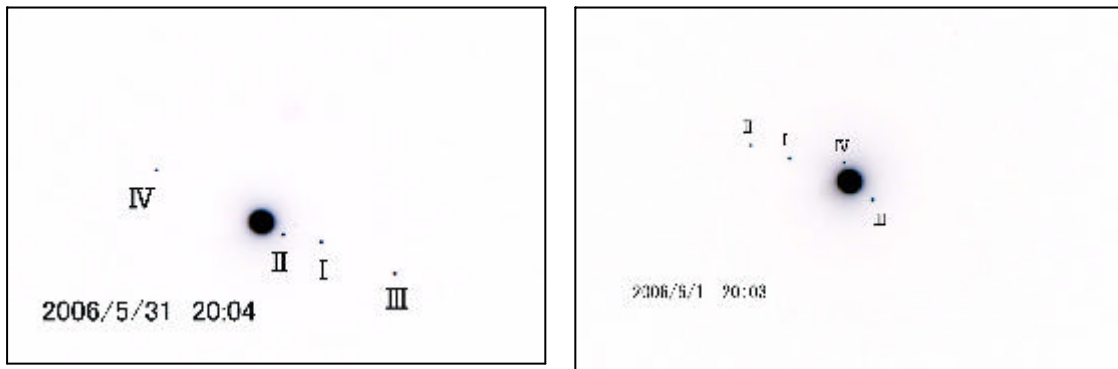
M: 木星の質量 (kg)  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  (万有引力定数)

$$M = 2 \times 10^{27} \text{ (kg)}$$

表5 木星の質量の値

衛星名	写真上の軌道	実際の軌道	公転周期	公転周期	木星の質量
	半径 (cm)	半径 (m)	a (日)	P (秒)	

図2 実習に利用したガリレオ衛星の写真(一部)



**おわりに**

今年で3年目となる実習であるが、今年も実際の星座観察会は曇天のため出来なかった。受講者からこの実習についての感想を書いて頂いた。

- ・ 壮大な宇宙を微力ながら考え解いていくことがとても楽しく興味を持つことが出来ました。
- ・ 遠い木星で起こっている現象が、数枚の木星付近の写真を元に、いろいろなデータ解析が出来ておもしろかった。ただすでに log の計算を忘れてしまっていてその部分が出来ませんでした。
- ・ 木星の質量を求めるにあたり物理をあまり知らないで求めるのに苦労しました。
- ・ 惑星の質量の出し方は、今まで計算したこともなく苦労しましたが、何とか出せてよかったです。
- ・ 科学が純粹におもしろいと久しぶりに感じる事が出来ました。
- ・ 来年も同じような機会がありましたら是非参加したいと思います。
- ・ 小中学生には、レベルが高すぎるため学校現場では余り使えそうにありません。小中学校でも生かせる内容(教えるにはどうしたらよいか)も入れて頂けるとよいと思います。

本実習を進めるにあたり、慶応義塾高校 松本直記教諭には終始ご指導をいただいた。厚くお礼を申し上げます。

**参考文献・引用文献**

- ・ 松本直記 他：2001、TheJupiterProject - 教育のための国際木星観測の試み - 天文教育普及研究会第15回年会
- ・ 松本直記 他：2002、国際観測プロジェクト"Jupiter Project"の実施とその期待される教育効果、日本理科教育学会理科教育学紀要、42巻3号
- ・ 松本直記 他：2003、Jupiter Project 画像を用いた授業実践 - 木星質量の決定を題材として - 日本天文学会 春季年会講演予稿集
- ・ 松本直記：2004、木星の国際共同観測画像を用いたケプラーの法則に関する教材開発、第36回東レ理科教育賞受賞作品集
- ・ 松本直記 他：2004、ジュピタープロジェクト - 教室を超えた国際的な学習支援の場 - 天文月報、97巻3号、PP156-162
- ・ 静岡県立磐田南高校：2007、第9回ジュニアセッション講演予稿集 P28、日本天文学会