

天体画像を使った天文教育指導者ワークショップ

2018年9月23日

# ガリレオ衛星の動きから 木星の質量を測る

## 今日の実習のポイント

あなたもできるデジカメ天文学 p.48-51参照

Paofits WG 洞口俊博

## 本日の流れ

- 配布資料/データの確認
  - 印刷資料: 2部
  - ガリレオ衛星フォルダ  
画像ファイル: 50, Word/Excel/PDFファイル: 8
- ガリレオ衛星の位置測定
  - マカリの位置測定機能で木星とガリレオ衛星の画像内でのピクセル位置(x,y座標)を測定する(一人2枚ずつ画像を分担)
  - ガリレオ衛星の位置変化のグラフを作成する
- 木星質量の計算
  - 衛星の最大離角位置から軌道の大きさを求める
  - ケプラーの第三法則を用いて木星の質量を求める

## ガリレオ衛星の位置測定

- 木星とガリレオ衛星の位置測定
  - 測定画像(一人2枚)
    - 配布資料(Galileo-SatelPos.xlsx) 担当No.
    - マカリで開き, 拡大(, カラーモード反転)
  - 衛星位置の確認
    - 天文年鑑等でも確認できるが(「衛星の位置」シート)
    - ここでは名古屋市科学館のサイトを利用してみる

### ガリレオ衛星の位置 ← 名古屋市立科学館HP

木星の衛星の見え方 (ガリレオ衛星)

木星の方位角 : 271.8  
 木星の地平高度: 30.4  
 太陽の地平高度: -44.9

衛星名 1: イオ 2: エウロパ 3: ガニメデ 4: カリスト  
 方位角: 北から東周りに測った角度。90° (東) 180° (南) 270° (西)  
 地平高度の数値が- (マイナス) の場合には、地平線の下で見えないことをしめします。

上の黒い四角の中に何も表示されない方は、このページを参考に、  
 お使いのブラウザのJavascriptを有効に設定してください。

Date: 2015.04.15 Time: 23:40

現在時刻 深夜0時 正午 縮小 拡大

< 12時間前 12時間後 >  
 < 1時間前 1時間後 > << 時間を戻す 停止 時間を進める >>  
 < 10分前 10分後 > 1時間秒 ▼ 遅く 速く  
 < 1分前 1分後 >

<http://www.ncsm.city.nagoya.jp/astro/astrotool/juptool.html>

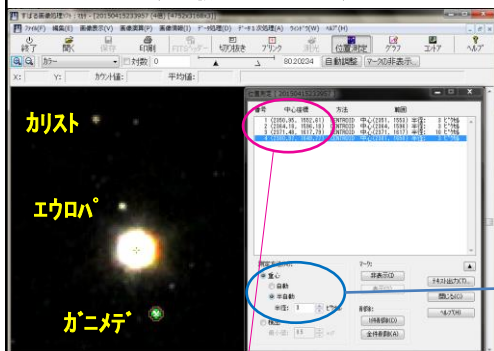
## ガリレオ衛星の位置測定

- 木星とガリレオ衛星の位置測定
  - 測定画像(一人2枚)
    - 配布資料(Galileo-SatelPos.xlsx) 担当No.
    - マカリで開き, 拡大(, カラーモード反転)
  - 衛星位置の確認
    - 天文年鑑等でも確認できるが(「衛星の位置」シート)
    - ここでは名古屋市科学館のサイトを利用してみる  
(ガリレオ衛星識別図.pdf)
    - カリストは結構暗いので要注意
  - まずは木星とガニメデ(またはエウロパ, カリスト)を測定  
(担当画像によってはガニメデが測定できないことあり)

## ガリレオ衛星の位置測定

- 木星とガリレオ衛星の位置測定
  - まずは木星とガニメデ(またはエウロパ, カリスト)を測定
    - 測定方法は, 重心, 半自動
    - 測定対象によって, 半径の設定を変える  
(木星は10ピクセル, 衛星は3ピクセル, 等)
  - 得られた中心座標をGalileo-SatelPos.xlsxの  
「測定値・グラフ(サンプル画像)」シートに入力
  - 1つ目の衛星ができれば 他の衛星も測定,入力する

## 位置測定機能で測定 → XY座標と三平方の定理



木星と衛星間の距離＝

$$\sqrt{(x_s - x_j)^2 + (y_s - y_j)^2}$$

- ・測定方法は重心, 半自動
- ・木星と衛星それぞれのサイズ(ピクセル)に合わせる
- ・木星やほかの衛星と接近しているときは半径を小さく

Frame No	Ex.Time	Date	木星位置		イオ位置		エウロパ位置		ガニメデ位置		カリスト位置		木星からの距離 ←洞口															
			x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	観測日	イオ	エウロパ	ガニメデ	カリスト											
15233955	15 23 38 55	15.98536																										
15233957	15 23 39 57	15.98608	2371.5	1617.8			2364.2	1596.2	2381.0	1649.8	2351.0	1552.6	15.98608		-22.77	33.41												
15234151	15 23 41 51	15.98740																										
16003142	16 0 31 42	16.02201																										
16003047	16 0 30 47	16.02138	2367.8	1584.9			2361.0	1565.4	2378.1	1618.3	2347.8	1520.2	16.02138		-20.60	34.97												
16002917	16 0 29 17	16.02034																										
16215613	16 21 56 13	16.91404																										
16215801	16 21 58 1	16.91529	2296.3	1604.2			2305.0	1633.5	2313.5	1659.7	2285.1	1568.5	16.91529		30.61	58.11												
16215801	16 21 58 1	16.91529																										

## ガリレオ衛星の位置測定

- ・木星とガリレオ衛星の位置測定
  - 木星と各衛星について, それぞれ測定  
測定方法は, 重心, 半自動  
測定対象によって, 半径の設定を変える  
(木星は10ピクセル, 衛星は3ピクセル, 等)
  - 得られた中心座標をGalileo-SatelPos.xlsxの「測定値・グラフ(サンプル画像)」シートに入力  
(各衛星と木星の距離[ピクセル]が計算される)
  - 担当画像について作業が完了したら  
Google Driveのスプレッドシートにアクセスして  
測定した位置座標を同様に入力する(全員の結果集約)  
アクセス方法は「このファイルを開いてGoogle DriveのGalileo-SatelPos スプレッドシートにアクセスして下さい.xlsx」参照  
→ガリレオ衛星の位置変化グラフの完成

## 木星質量の計算

- 衛星の最大離角位置から軌道の大きさを求める
- ケプラーの第三法則を用いて木星の質量を求める

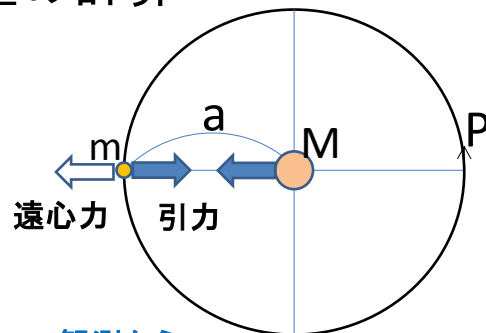
ケプラーの第三法則とは？

軌道長半径の3乗と公転周期の2乗が比例する

距離の2乗に反比例する中心力が働くところで成り立つ  
軌道長半径の3乗と公転周期の2乗の比は中心天体の  
質量によって決まっている

## 木星質量の計算

a: 軌道半径  
P: 公転周期  
M: 木星の質量  
m: 衛星の質量  
G: 万有引力定数



円軌道の遠心力と衛星に働く引力がつり合っている

$$m \frac{4\pi^2 a}{P^2} = G \frac{Mm}{a^2}$$

観測から

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \quad \text{求まる}$$

詳細: あなたもできるデジカメ天文学 p.51コラム参照

## 木星質量の計算

- 衛星の最大離角位置から軌道の大きさを求める
- ケプラーの第三法則を用いて木星の質量を求める  
軌道半径と公転周期がわかれば中心天体の質量が分かる

公転周期も観測から求められるが、ここでは既知の値を利用して  
軌道半径[km]の方を求める（「天体の大きさ」実習の応用！）

[ピクセル]を[°]に換算し、距離をもとに[km]を求める

Galileo\_Calc.xlsx「見かけの軌道半径」「木星の質量」シート

## 国立天文台暦象年表HP

国立天文台 > 暦計算室 > 暦象年表 >

[RSS](#) | [トピックス](#) | [暦Wiki](#) | [用語解説](#) | [English](#)

惑星の地心座標

設定

用語解説

1. 天体を選んでください。  表示

2. 年月日を指定してください。 2015 年 4 月 21 日 表示

3. 時刻を指定してください。 22 時 3 分 4 秒 表示  
現在時刻 0時

4. 時刻系を指定してください。  表示

5. (オプション) 1 日 ごとに 1 日 間調べる 表示

6. (オプション)  表示

7. (オプション)  表示

8. 表示

木星

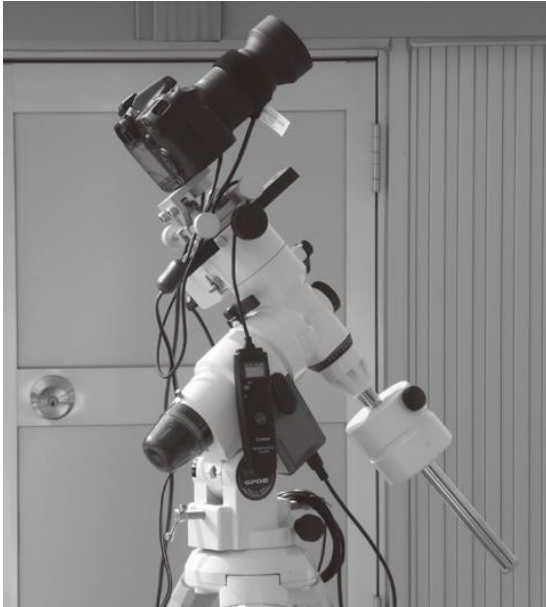
中央標準時

$\Delta T = 68s$

年月日	時刻	視赤経 [h m s]	視赤緯 [°]	地心距離 [km]	視黄経 [°]	視黄緯 [°]	視差 ["]	視半径 ["]	視半径* ["]	等級
2015/04/21	22:03:04	9 02 21.400	17 51 06.99	756791883	182 50 47.70	0 56 13.87	0 01.74	0 19.49	0 18.22	-2.2

7. 57億 km=5.06 au

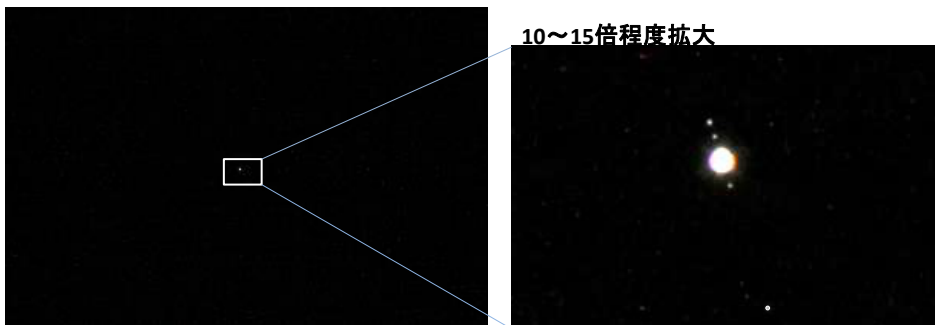
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/planet.cgi>



実習データの観測  
 (山村さん撮影)  
 Canon EOS50D(APS-Cサイズ)  
 +200mm望遠(ズーム)  
 <35mm判: 320mm相当>  
 ISO:2000 露出:1/15~1/4s

## デジカメによるガリレオ衛星の撮影

- ・1~2時間おきに数枚ずつ撮影 (1日に1~数回)  
 (何枚か撮影したうちからシーイングの良いものを選ぶ)
- ・位置測定ができればよいので、JPG画像でもOK
- ・ピント合わせはきちんと行うこと
- ・露出時間は衛星がよく写るように決める(木星はオーバーになっても可)
- ・ブレないようにセルフタイマーやリモコン, レリーズを利用する



・木星本体と衛星の距離が数10ピクセルあれば十分