

ガリレオ衛星の観測

中等教育教員養成課程 理科専攻
金光研究室 262322 村田 李奈

1. はじめに

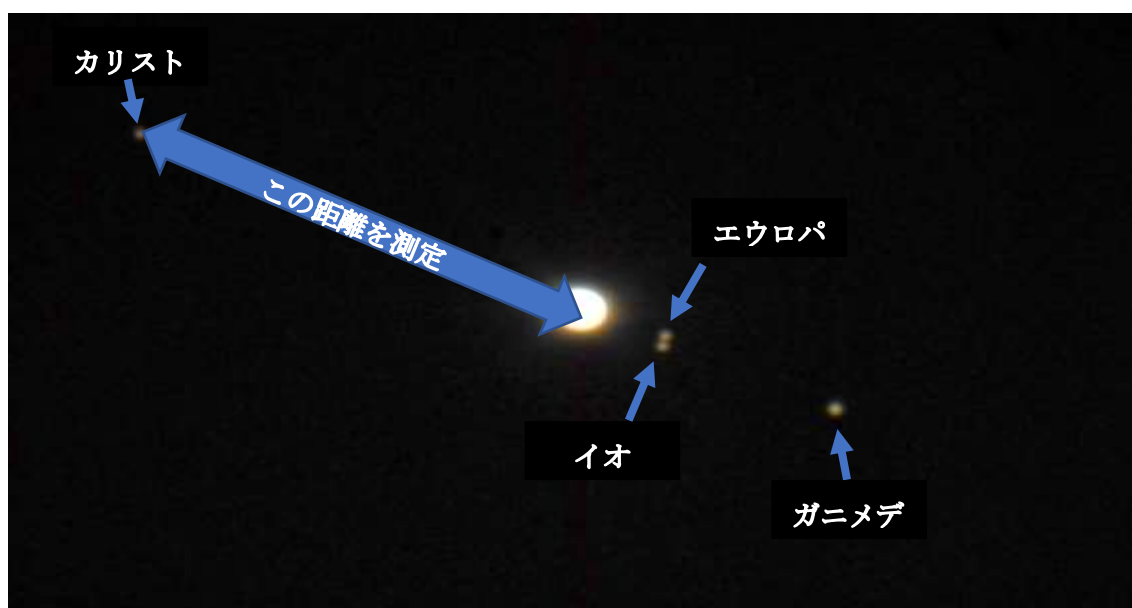
衛星とは、惑星や準惑星、小惑星の周りを公転する天体のことであり、代表的な衛星は地球の衛星の月である。月は小学校・中学校現場で容易に観測ができる教材として理科教育にとり入れられている。しかし、月を使った観察は、主に地球の自転や月齢に関する内容を取り扱うことが多く、高等学校での指導にはあまり取り入れられない。

そこで、本研究では高等学校での指導にも取り入れることが出来るようにするために、木星の衛星であるガリレオ衛星の観測を行う。ガリレオ衛星とは、1610年にガリレオ・ガリレイが天体望遠鏡を使って発見したイオ、エウロパ、ガニメデ、カリストという4つの衛星のことである。

本研究では、本大学に設置してある口径40cmの望遠鏡とカメラを使ってガリレオ衛星を撮影し、撮影した画像から各衛星の位置関係をグラフに表し、従来の観測データと比較することによって教材として使うことが出来るのかを検証することを目的としている。また、観測から得られた衛星の公転周期と軌道半径から、ニュートンの万有引力の法則を用いて木星の質量を算出し従来の観測データと比較することによって、教材へのさらなる使い道を検証する。

2. 観測方法

- ①口径40cmのカセグレン反射望遠鏡(本大学に設置)とカメラを用いて衛星を観測し撮影する。
- ②使用したカメラの撮像素子と望遠鏡の焦点距離を用いて画角を求め、撮影した画像の1ピクセルあたりの距離を算出する。
- ③ステラナビゲータ10とステライメージ7を用いて、撮影した画像における木星と各衛星の距離



を調べ、衛星ごとにグラフで表し従来の研究データと比較する。

図1 木星とガリレオ衛星

- ④作成したグラフから得られた衛星の公転周期と軌道半径から、ニュートンの万有引力の法則を用いて木星の質量を算出し、従来の研究データと比較する。

3. 観測結果

●観測データ

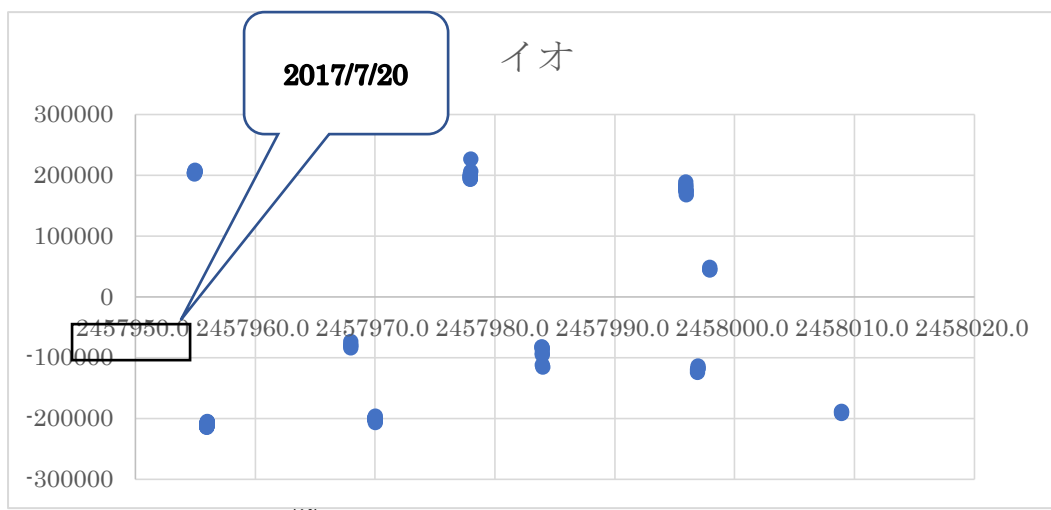
日付	時間	撮影した枚数
2017/7/20	20:00~20:18	13 枚
2017/7/21	19:46~21:08	40 枚
2017/8/1	19:48~21:07	14 枚
2017/8/2	19:57~20:58	12 枚
2017/8/4	20:50~21:22	13 枚
2017/8/12	19:29~20:48	12 枚
2017/8/18	19:24~20:38	12 枚
2017/8/30	19:10~20:07	14 枚
2017/8/31	19:08~19:38	7 枚
2017/9/1	19:12~19:37	7 枚
2017/9/12	19:07~19:27	3 枚

今回は、撮影した画像合計 147 枚のうち、衛星の位置を確認することが出来たのは 120 枚であったため、120 枚のデータをもとにグラフの作成を行った。

●グラフ作成

今回は、縦軸に木星から衛星までの距離(km)、横軸にユリウス日を取ってグラフを作成する。ユリウス日とは、ユリウス暦を紀元前 4713 年 1 月 1 日まで遡って適用し、そこから数えた経過日数のことである。時刻は小数点で表される。このユリウス日を横軸にとることによって、観測日にばらつきがあってもグラフから周期を読み取りやすくなる。

○イオ



2 イオ 公転周期についてのグラフ

グラフを作成した結果、このグラフからはイオの公転周期と軌道半径を読み取ることは難しいと判断した。そこで、従来の研究結果から得られているイオの公転周期を仮定し、その 1 周期分を横軸にとりグラフを作成しなおした。仮定の 1 周期を超えたデータについては、1 周期を超えたところを次の周期の始点としてとらえ、最初のグラフに始点を合わせ、上からデータを重ねていく。そのようにして作成しなおしたグラフが次のとおりである。

○イオ（公転周期 1.17691 日と仮定）

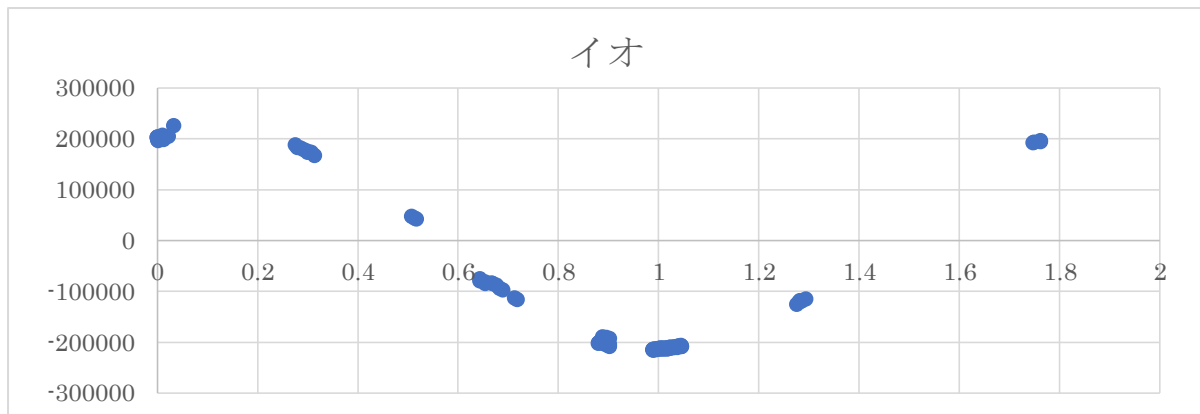


図3 イオ 1周期のグラフ

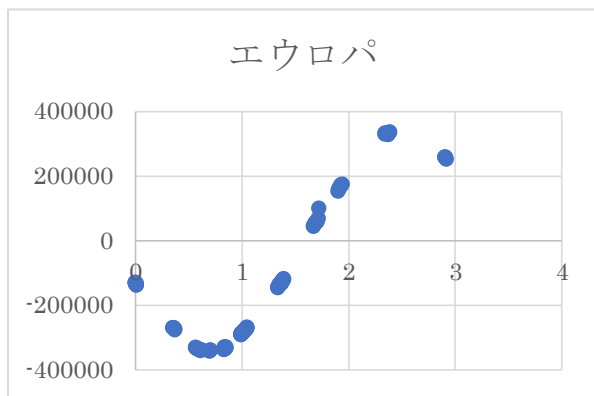


図4 エウロパ 1周期のグラフ

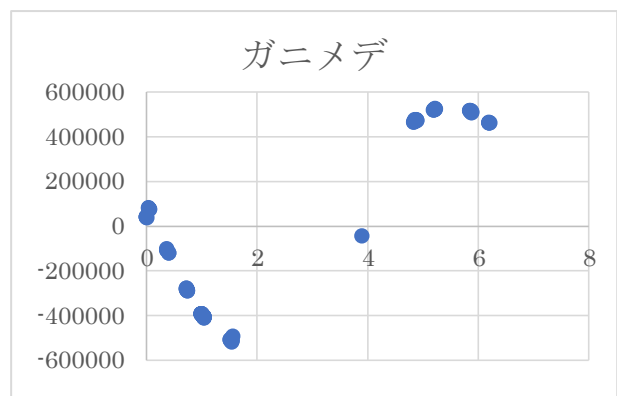
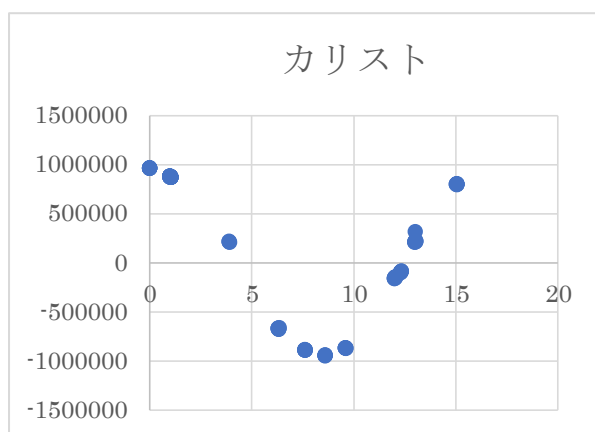


図5 ガニメデ 1周期のグラフ

○ガニメデ（公転周期 7.1546 日と仮定） ○エウロパ（公転周期 3.5512 日と仮定）

グラフを作成しなおした結果、図3のほうがわかりやすいグラフとなったため、エウロパ、ガニメデ、カリストについても同様の手順でグラフを作成する



○カリスト（公転周期 16.6890 日と仮定）

- ・各衛星において仮定した公転周期は、理科年表（平成 30 年）におけるデータである。
- ・各衛星の公転周期が横軸の最大になるように設定し、撮影した画像において木星よりも右側に位置するものをプラス、左側に位置するものをマイナスとしてグラフに表す。

●木星の質量算出

ニュートンの万有引力の法則に従い、木星の質量を求める。今回は、観測から作成したグラフから得た衛星の公転周期とグラフの最も振幅の大きいデータの距離を軌道半径として木星の質量を算出する。

ニュートンの万有引力の法則

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$



$$M = \frac{4\pi^2 a^3}{GP^2}$$

a:衛星の軌道半径
P:衛星の公転周期
G:万有引力定数
M:惑星の質量

○理科年表(平成 30 年)において木星の質量は地球の 317.83 倍であり、計算すると $1.90 \times 10^{27} \text{kg}$ となる。各衛星の計算結果を次にまとめる。

	公転周期 (P)	軌道半径 (a)	木星の質量 (M)	誤差 (%)
イオ	1.7691	450799.6611	2.31946×10^{27}	22.20
エウロパ	3.5512	674904.8003	1.9316×10^{27}	1.77
ガニメデ	7.1546	1044975.336	1.7664×10^{27}	6.94
カリスト	16.689	1917892.575	2.00703×10^{27}	5.74

表 1 木星の質量算出

4. 考察・まとめ

観測結果から、各衛星の公転周期を従来の研究データで仮定したところきれいな SIN カーブ状のグラフが作成されたことから、従来の研究データとほぼ同様の公転周期を今回の観測から求めることが出来たことがわかる。初めに予定していた方法では SIN カーブ状のグラフを判別することが難しかった原因としては、データ量が少なかったことが挙げられる。2017 年における木星の観測時期としては、5 月や 6 月が高い位置で観測することが出来るために望ましいとされていたが、その時期を逃してしまったために、低い位置での観測となり連続した観測ができなかった。また、天候にも恵まれず、観測日にばらつきができてしまった。こうした理由からデータ量が少なかったことが原因の一つであると考えられる。

木星の質量算出については、従来の研究データが $1.90 \times 10^{27} \text{kg}$ に対し最大の誤差がイオの 22.20%と大きくなった。この原因としては、イオは軌道半径が 4 つのうち最も小さいためその分精度が落ちてしまうことが考えられる。しかし、ほかの 3 つは比較的小さい誤差で求めることができたため、観測データを使った木星の質量算出は教材として利用できることがわかる。

天体望遠鏡を扱う授業は生徒の興味を引くことにもつながり、意欲的に授業に参加させることができる。観測が難しい場合は、あらかじめ観測しておいたデータを使って衛星の軌道半径を求めさせると良いと考える。さらに、高等学校では実際の観測値からニュートンの万有引力の法則を用いることが出来るために、物理学への興味・関心にもつながる教材であると考えられる。

今後の展望としては、実際に学校現場でも使うような望遠鏡を用いてどの程度のデータをとることができるのかということ調べていくことが考えられる。