

木星の四大衛星の観測

—ケプラーの法則の証明—

松山市立新玉小学校 第4学年 森 亮
指導教諭 木戸初美

1 はじめに・観測の動機

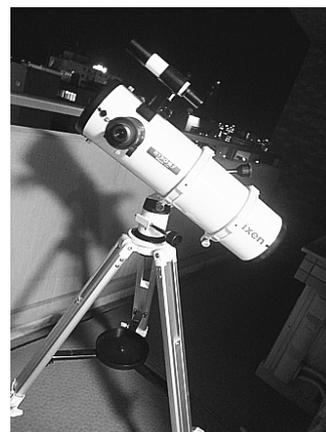
ぼくは、一昨年は「太陽とかげの観測」、昨年は「太陽の南中時刻と方位の研究」をした。研究で分からないことがあると、天文台に行き、先生から教えてもらったり、励ましてもらったりした。また、天文台の望遠鏡で見た星の美しさが忘れられず、自分の力で素顔の星を見たいと思い始めた。その頃、「太陽系 惑星 大図鑑」という本に出会い、ガリレオ・ガリレイが発見した木星の四大衛星に興味をもち、ガリレオになった気分で大衛星を追いかけてみようと思った。

2 観測期間・観測場所

平成27年3月15日～平成27年7月21日 自宅マンションのベランダで観測

3 観測に必要な物

天体望遠鏡（ポルタⅡ R130 sf）・カメラ（ニコンD5500ダブルズームキット黒）・ワイヤレスリモコン・接眼レンズ（PL20、PL6.3）・時計・グラフ用紙・ものさし・計算機・パソコン・天文年鑑（2016）・理科年表（2016）・宇宙大図鑑・太陽系惑星大図鑑



4 観測方法

- (1) 木星が見える晴れた夜、ベランダにカメラをつけた望遠鏡を出す。
- (2) 木星を望遠鏡の筒の中に取り込み、木星の四大衛星が入っているのを確認する。
- (3) 四大衛星が確認できたら、カメラのシャッターを押す。
- (4) 写真が撮れたら、衛星特定ソフトを使い、その時刻の四大衛星の画面をプリントする。
- (5) 自分で撮ったカメラの写真と衛星特定ソフトの画像を見比べる。
- (6) グラフ用紙に自分が撮った写真と衛星特定ソフトの画像を貼り、ラインの上に四大衛星の位置を書き込む。
- (7) 四大衛星の位置をものさしで測り、正確にグラフの上に印をつけて衛星の名前を書く。

5 観測を始めるまで

木星の四大衛星を見るには、望遠鏡が必要であるため、平成28年1月に新居浜科学博物館へ行き、千葉先生から「初心者にも使いやすい望遠鏡は、ビクセンのポルタⅡだよ」と、アドバイスをもらった。また、衛星の撮影に必要な一眼レフカメラ等も準備した。

3月上旬から観測を始めたが、望遠鏡の視野に木星を捕らえてもすぐに逃げてしまい、

なかなか写真を撮ることができなかった。寒さとの戦いであったが、少しずつ操作にも慣れ、木星の写真を撮れるようになった。しかし、反射望遠鏡で見た景色は上下左右が逆になっていて、どうしたらいいのか自信がなくなった。そこで、毎年自由研究の相談にのってもらっている、国立天文台の臼田先生に相談しようと思った。

6 国立天文台 臼田先生と会って

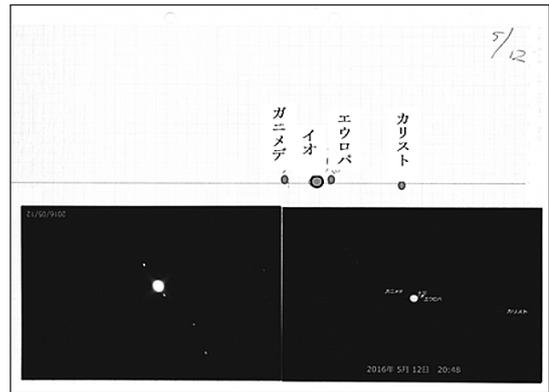
平成28年3月、仕事で松山に来ていた臼田先生と会い、以下のことを教えていただいた。

- 反射望遠鏡は上下左右が反対に見えるので、写した写真を裏返して見る。
- 四大衛星の動きと周期の観測のやり方はこのまま続けること。予想を立て、観測後予想がどれだけあっているか調べること。
- 木星から四大衛星の距離をものさしで正確に測って、グラフ用紙にプロットすること。
- ケプラーの第三法則を計算してその法則を証明できたら、最高にすごいということ。

ケプラーの第三法則を本で調べたが、「惑星の公転周期の2乗（2回かける）は、軌道半長径（一番長い半径）の3乗（3回かける）に比例する。比例定数が同じになる。」と書かれてあり、とても難しそうだった。

7 久万高原天体観測館へ

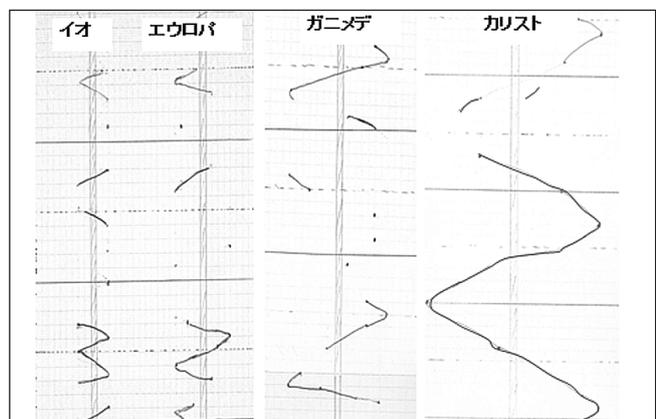
撮影した衛星の写真を上下左右反対にして裏返し、天文年鑑のデータと比べてみたが、どれがどの衛星なのか特定できなかった。そこで、平成28年4月に久万高原天体観測館に行き、藤田先生から「木星の衛星が特定できるソフトが国立天文台から出ているよ。撮影時刻を入力すると、その時刻の四大衛星の名前が書き込まれた画面が出てくるよ（資料1）。それをプリントして君の写真と比べると、衛星の位置や名前が分かるよ。」と、教えてもらった。また、5月に京都に行く機会があり、子ノ星教育社の坂元誠先生に会って今までの観測を見てもらった。坂元先生から「このまま観測を続けて大丈夫」と言ってもらえたので、安心して観測を続けることにした。



(資料1) 四大衛星のプロット表

8 木星の四大衛星の特定

藤田先生に教えてもらったソフトを使うと、簡単に衛星を特定することができた。撮影後は、グラフ用紙のラインの上に四大衛星の位置を書き込み、四大衛星の位置をものさしで測って、正確にグラフの上に印をつけて衛星の名前を書く作業をした。また、衛星ごとに周期表をつけていった（資料2）。



(資料2) 四大衛星の周期表

9 西はりま天文台へ

実際に観測をしてみると、以下の疑問が出てきた。

- 天気の関係で、連続して観測できないため、四大衛星の周期表も連続してグラフを書くことができない。どこを取って周期とすればいいのか。また、観測時刻も午後8時～10時とばらつきがあり、ぼくの観測はこのまま続けて大丈夫か。
- ケプラーの第三法則は、小学生のぼくにでも証明できるものなのか。
そこで、平成28年6月に、西はりま天文台に行き、鳴澤先生にぼくの疑問について、以下の事を教えてもらった。
- 天体観測は天気によって左右されるものだから、できる範囲で観測したのでいい。
- 周期はグラフの一番長いところ（折り返しまでの長さ×2）を探して決めるといい。
- ケプラーの第三法則の証明は、君の観測データで一度計算してごらん。四大衛星の値が一定にならないと、データが間違っていることになる。ただし、0.1mm違ってても答えは違ってくるよ。ものさしでは1mm以下は測れないから、かなり誤差が出るよ。小学生でケプラーの法則にチャレンジするのは、すごいよ。頑張って!!

10 ケプラーの第三法則の証明

周期のグラフから、周期と半長径を予想してみた（表1）。本で調べると、木星の直径は14.3万km。ぼくのグラフは木星を5mmでかいているので、 $14.3万 \div 5 = 2.86万$ 。

1mmは約2.9万kmになった。ケプラーの第三法則の公式にぼくの予想をあてはめてみた。

ケプラーの第三法則は下記のとおりなので、この式に数字をあてはめて計算をした。

	周期	半長径
イオ	2日	13mm
エウロパ	4日	23mm
ガニメデ	8日	38mm
カリスト	16日	61mm

（表1）四大衛星の周期と半長径の予想

$$\frac{(\text{衛星の半長径})^3 \quad \dots 3 \text{ 乗} \quad 3 \text{ 回かけること}}{(\text{衛星の周期})^2 \quad \dots 2 \text{ 乗} \quad 2 \text{ 回かけること}}$$

$$\begin{aligned} (1) \quad \text{イオ} & \quad \frac{(2.9 \times 13)^3}{2^2} = \frac{(37.7)^3}{4} \quad \approx 13,396 \\ (2) \quad \text{エウロパ} & \quad \frac{(2.9 \times 23)^3}{4^2} = \frac{(66.7)^3}{16} \quad \approx 18,546 \\ (3) \quad \text{ガニメデ} & \quad \frac{(2.9 \times 38)^3}{8^2} = \frac{(110.2)^3}{64} \quad \approx 20,911 \\ (4) \quad \text{カリスト} & \quad \frac{(2.9 \times 61)^3}{16^2} = \frac{(174.9)^3}{256} \quad \approx 21,624 \end{aligned}$$

計算機を使って計算をすると、21,624～13,396の値になり、一定になるはずの数字がバラバラになってしまった。観測時刻が一定でなかったり、ものさしで測ったため詳しい数字が読み取れなかったのかもしれない。ぼくの予想は全く外れてしまい、自信を無くしてしまった。

予想が外れだったため、図書館で本を探し、木星との距離や周期を勉強した。

宇宙大図鑑に、表2の様に書かれてあるのを見つけた。

	イオ	エウロパ	ガニメデ	カリスト
木星からの距離	42万1600km	67万0900km	107万km	188万km
公転周期	1.77日	3.68日	7.15日	16.69日
直径	3,643km	3,122km	4,821km	5,262km

(表2) 四大衛星の木星からの距離・公転周期・直径

この数値を参考にし、もう一度計算をした。ぼくのグラフは、木星は5mmにしているため、1mmは2.86万kmとなる。そこで、四大衛星の半長径を計算すると以下の値になった。

イオ： $42.16 \div 2.86 \approx 14.7\text{mm}$ 、エウロパ： $67.1 \div 2.86 \approx 23.5\text{mm}$

ガニメデ： $107 \div 2.86 \approx 37.4\text{mm}$ 、カリスト： $188 \div 2.86 \approx 65.7\text{mm}$

この半長径の値と、宇宙大図鑑の公転周期を使って、ケプラーの第三法則を計算した。

イオ： $(14.7)^3 \div (1.77)^2 \approx 1014$ 、エウロパ： $(23.5)^3 \div (3.68)^2 \approx 1013$

ガニメデ $(37.4)^3 \div (7.15)^2 \approx 1023$ 、カリスト $(65.7)^3 \div (16.69)^2 \approx 1017$

計算機で計算をしたら、ほぼどの数値も1000あまりの同じくらいの数字になった。これで、木星を中心に四大衛星が一定の周期で規則正しく公転していることがわかった。

11 観測の結果

- 木星の四大衛星を観測し、観測結果から、四大衛星の周期と半長径を導きだした。
- 観測結果の数値を見ると、本に書かれていた数値とあまり変わりがないように見えた。
(例) イオ 周期2日(実際は1.77日)、半長径13mm(実際は14.7mm)
- 観測結果からケプラーの第三法則の証明しようと思ったが、正しい結果が出なかった。科学というもの、観測結果は0.01でも違うと、正しい結果が出ないことが分かった。
- ケプラーの第三法則は、本に書かれていた数字で計算をすると、四大衛星の数値がほぼ一定になった。このことから、四大衛星は木星を中心に規則正しく回っているという、ケプラーの法則を証明することができた。

12 反省と感想

- 観測を始めた頃は、望遠鏡に木星を捕らえたり、写真を撮ったりすることができず、なれるまでにとっても苦労した。
- 観測の途中、何度も疑問にぶつかり、どうしたらいいのか分からなくなった時があった。天文台の先生方から、たくさんのアドバイスや励ましをもらうことで、なんとかケプラーの法則の証明までたどり着くことができた。
- 科学の世界では、だいたいや適当ということは、絶対にダメなことだとわかった。
- 失敗しても、しんぼう強く、あきらめずに続けることの大切さを感じた。
- 天体は果てしなく大きく、底知れない怪物だと感じた。ぼくも、小さいことにくよくよしない、スケールの大きな人になりたいと思った。