

14 水瓶座 σ 星の星食からもとめた月の諸量 —2007年8月28日の皆既月食を例にして—

磐田南高校地学部天文班 2年 久永容嵩 岩井貴寛
1年 佐藤真輔 杉浦太亮 鈴木寿弥

1. 動機

2007年8月28日に皆既月食があることを知った私たちは、日頃目にする月がどのように変化するのかに興味を持ち、観測を行うことにした。また、皆既日食と同時に起こる水瓶座 σ 星の星食にも興味をもった。さらにこの星食について調べてみると星食の時刻から月と地球の距離を求めることができることを知った。そこで、その値が分かれば月の直径や質量なども計算できるのではないかと予想し、これに挑戦することにした。

2. 目的

月食及び星食の写真撮影や動画撮影により、正確な水瓶座 σ 星の月への潜入・出現時刻をもとめる。次にこれらの時刻と万有引力やケプラーの法則から月の諸量を推定する。

3. 方法

- ① 15cm屈折望遠鏡に時刻をGPS時計にあわせたデジタル一眼レフカメラを装着し月を1分毎に撮影する(図1参照)。
- ② 8cm屈折望遠鏡に高感度ビデオカメラを装着し、GPS時計の時刻を画面上に映し込みながら動画撮影を行い、動画データをパソコンに保存する。
- ③ 画像処理ソフトや数式処理ソフトを用いて、水瓶座 σ 星の正確な潜入、出現時刻をもとめ、三角測量の原理を利用して月と地球の地心距離をもとめる。
- ④ ③でもとめた月と地球の地心距離と月の公転周期・観測時の視直径より、万有引力や遠心力、ケプラーの法則を使って月の直径や質量などの諸量をもとめる。

4. 水瓶座 σ 星の出現時刻の推定

月と地球の地心距離や月の質量といった月の諸量を求めるためには水瓶座 σ 星の潜入と出現の正確な時間を求める必要がある。水瓶座 σ 星の潜入時刻はワテック高感度カメラの動画上の時刻から求められたが、出現時刻は水瓶座 σ 星の出現方向の予測を誤ったため求めることができなかった。そこでデジタル一眼レフカメラやビデオカメラのデータを天体画像処理ソフト「マカリ」等で合成し、次に単位時間当たりの水瓶座 σ 星の移動角度を求めることで、水瓶座 σ 星の出現時刻を算出した。この結果、図2のとおり潜入時刻は19時44分52.97秒、出現時刻は20時28分



図1 水瓶座 σ 星潜入の直前の様子

水瓶座 σ 星 52.09秒となった。

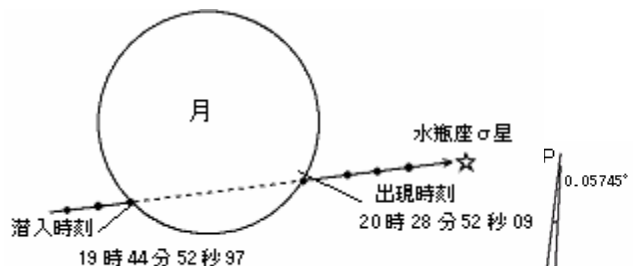


図2 潜入時刻・出現時刻の図

5. 月と地球の地心距離の推定

地球月間の距離の推定には、恒星の視差を三角測量の原理を用いて求めなければならない。そこで、水瓶座 σ 星が潜入し出現するまでに移動した距離が、月の視直径のどれくらいの割合を占めるかを求め、視差を求めることにした。月は背景の恒星に対し43.99分間で月の視直径の約64.14%、即ち 0.3451° だけ移動している。公転周期が27.32日であることから、月の公転速度は1時間に 0.5490° である。よって、43.99分間では 0.4025° 移動していることになる。

※CはPAの延長線上の点である

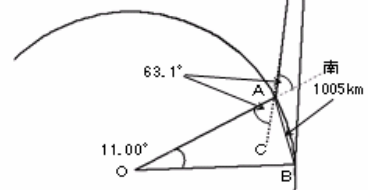


図3 観測地点と月の位置

月の公転の方向は地球の公転と同じ方向なので、両方の差をとって 0.05745° が視差となる。

観測地点(磐田南高等学校) 北緯 $34^\circ 43' 15''$ における 43.99 分間の地球の自転による観測者の移動距離は、図 3 の AB である。

地球の赤道半径は 6378km であり、地球は 1 時間で 15° 自転するので 43.99 分間では 11.00° 自転している。

よって AB は 1005km である。

星食開始時の月の位置は真南から東に 63.1° であったので図 3 のようになる。

AP を X km と置くと、X は 364675 km となる。

また、 $\angle PAO$ は 116.9° であるので、図 4 より余弦定理を用いて $OP^2 = 6378^2 + 364675^2 - 2 \times 6378 \times 364675 \times \cos 116.9^\circ$

よって、地球月間の地心距離 (PO) は 367595 km と求められた。

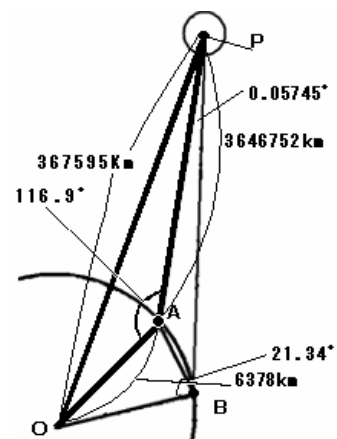


図 4 OP 間の距離の推定

6. 月の諸量の推定

ケプラーの法則より、惑星・衛星間では、衛星に働く万有引力と、遠心

力は釣り合った状態になる。また月と地球は図 5 のように、共通重心を中心に回っている。ここで地球の質量を M、月の質量を m、共通重心と月の中心の間の距離を s、地球・月間の中心からの平均距離を a とすると、共通重心から地球と月までの距離はそれぞれの星の質量に反比例するため、

$$M:m=s:a-s$$

という式が成り立ち、これと遠心力、万有引力の法則を用いると、図 6 の式が得られる。

この式を用いて月の質量を推定した。また、視直径により月の直径を求め、月の体積、密度、月の赤道上で重力を求めた。

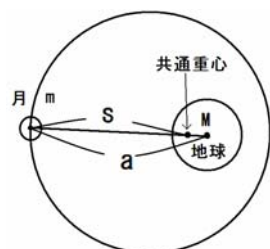


図 5 地球・月間の模式図

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

図 6 質量推定の式

a は軌道長半径、P は公転周期、G は万有引力定数 M は地球の質量、m は月の質量を表す。

7. 結果・考察

結果は表 1 のとおりになった。表 1 月の諸量

月の諸量	私たちの計算結果	公表値	誤差(%)
8月28日の月と地球の地心距離	367595km	368500km	0.3%
月の平均距離		384400km	
月の直径	3450.4km	3474.8km	0.7%
月の質量	6.0×10^{22} kg	7.3×10^{22} kg	20.0%
月の体積	2.1×10^{10} km ³	2.2×10^{10} km ³	2.2%
月の密度	2.8 g/cm ³	3.3 g/cm ³	17.0%
月の重力加速度	1.3m/s ²	1.6m/s ²	20.0%

月と地球の地心距離と直径については、正確な水瓶座 σ 星の星食の潜入と出現時間を求められたため誤差がとても小さくなった。一方、質量とそれがかわる量の誤差が大きくなった。これは、質量推定の際に月の中心を重心として用いて計算したが、実際は2つは大きくずれているためと考えられる。

8. 参考文献

天文観測年表編集委員会(2006)天文観測年表 2007, 地人書館 p253

天文観測年鑑編集委員会(2006)天文観測年鑑 2007, 誠文堂新光社 p343

フリー百科事典ウィキペディア

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A1%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B8>

A s t r o A r t s <http://www.astroarts.co.jp/>

海上保安庁海洋情報部ホームページ <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>