

# 地球の自転効果に因る日食時の月までの距離と月の速度の測定

---日食画像の解析によるケプラー第2法則の確認---

村松直哉, 新井直之(2年), 田中哉太, 中沢昇平, 酒井直哉, 竹内秀幸, 田村暢(1年)  
篠原史也(3年)【長野工業高等専門学校天文部】

## 1. はじめに

人は、両目で見る風景の違い（視差）から遠近感を得る。2009年の皆既日食の際に、長野高専天文部では、離れた2点間での画像から、視差を求めて、月までの距離を測定した。今回、2012年5月21日の金環日食の際に、食分と明るさ、及び温度などを測定した。画像から太陽の面積を求めるプログラムを作成し、太陽の面積と明るさの関係を解析した。図1は、太陽の面積の時間変化を示している。図のように、食の始まりから金環の時間より、金環から食の終わりまでの時間の方が7分長いことが判った。この原因は、地球（観測者）の自転に因って、月の見かけの速度が変化しているためだと考えられる。そこで、1カ所で観測された画像データから、観測者の自転の効果を考慮して、月までの距離と月の公転速度を導出してみた。

## 2. 観測

観測日：2012年5月21日 5時44分から9時

観測場所：長野県塩尻市吉田小学校 (E 137° 57' 19.5" N 36° 09' 55.7" 高度 644m)

観測方法：デジタル一眼カメラ、シャッター速度 1/320[s]、F11、ISO200 (図1)

ソフト：Processing、すばる画像処理ソフト マカリ

## 3. 太陽の面積変化

太陽の見かけの面積を求めるために、画像を明るさで2値化して、明るい太陽像の部分と暗い背景の部分とに分けて、明るい部分のpixel数を数え上げた。自動解析用のプログラムをプログラミング言語”Processing”を用いて作成した。測定した数値の最小の値を食の最大として図1のようにまとめた。

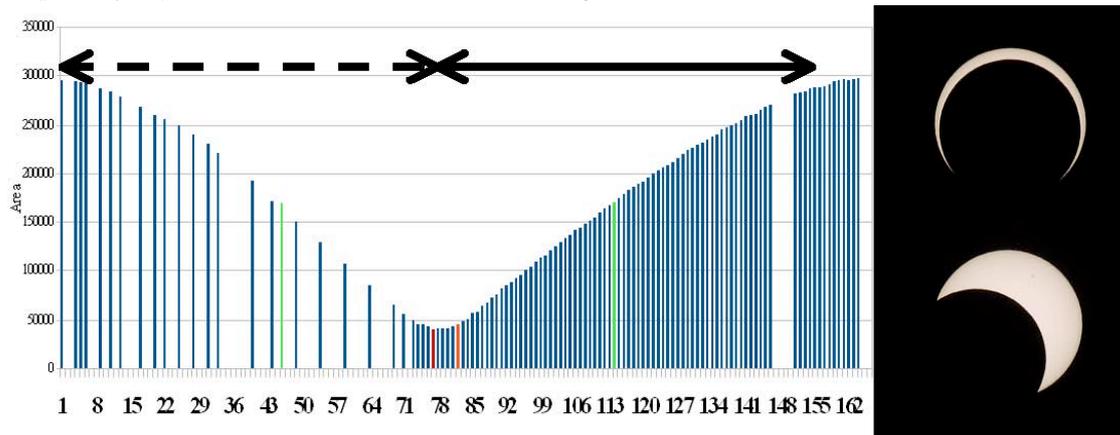


図1 太陽の面積の時間変化（左）と解析に使った画像例（撮影：長野高専天文部）  
第1接触から面積最小までの時間差と面積最小から第4接触までの時間差が7分間ある。

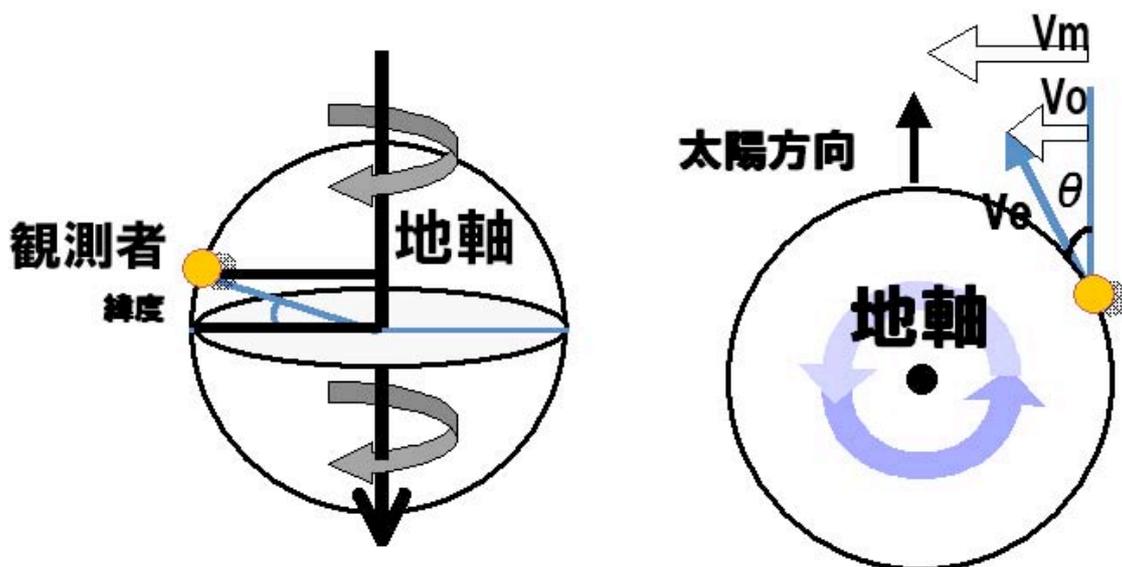


図2 太陽から見た観測者の自転（左）と月の公転面から見た観測者の速度（右）

#### 4. 地球-月間の距離算出

観測者からの太陽に対する見かけの月の角速度  $\omega$  [rad/s]は、月の速度を  $V_m$  [m/s]、観測者の月の移動方向に射影した速度を  $V_o$  [m/s]、月までの距離を  $R$  [m]とすれば、

$$\omega = (V_m - V_o) / R$$

となる。ただし、 $V_o$  は、太陽の高度  $\theta$  [rad]により変化し（図2右）、また、緯度（図2左）や地軸に対し月の見かけの進行方向（2012年金環日食では約 $30^\circ$ 、2009年皆既日食では約 $20^\circ$ ）に依存する。地球の自転速度を  $V_e$  とすれば、 $V_o(\theta) = V_e \cdot \cos(\text{緯度}) \cdot \cos 30^\circ \cdot \sin \theta$  [m/s]と表される。

ここで、月の角速度  $\omega$  の  $\theta$  依存性を測定すれば、 $R$  と  $V_m$  が同時に求める事が出来る。

（連立方程式  $\omega_1 = (V_m - V_o(\theta_1)) / R$ ,  $\omega_2 = (V_m - V_o(\theta_2)) / R$  より、 $R$  と  $V_m$  が求まる。）同様に、2009年7月22日の皆既日食時のデータも解析した。

#### 5. 結果と考察

上記の方法より、2012年金環日食時の月までの距離は  $(4.1 \pm 0.1) \times 10^8$  [m]、月の速度は  $(9.3 \pm 0.2) \times 10^2$  [m/s]となった。また、2009年皆既日食時の月までの距離は  $(3.6 \pm 0.3) \times 10^8$  [m]となり、月の速度は  $(1.05 \pm 0.1) \times 10^2$  [m/s]となった。月の距離と速度の積は、金環日食時と皆既日食時ではほぼ同じ値である。このことより、日食時で、「面積速度が一定である」というケプラーの第2法則が成立していることが確認できた。

#### 6. まとめ

地球（観測者）の自転効果を使って、1観測点でのデータから、日食時の月までの距離と、月の速度を導出できた。さらに、皆既日食と金環日食の解析より、金環では月が遠く、皆既では月が近いだけでなく、金環では月が速く、皆既では月が遅い事が確かめられた。これらより、ケプラーの第2法則が成立していることが確認できた。

今回の解析で、太陽の面積を測定するプログラムを制作したので、各地の大量のデータを短時間で解析できるようになっている。そこで、各地のデータを解析することで地球上を通過した月の影の速度を正確に追う事ができると考えられる。皆さんのデータの提供を期待しています。