

小惑星の自転軸と小惑星の形状を再現する手法の研究

福岡県立小倉高等学校科学部 S S 天文研究会

後藤 理咲子、岡村 麻美 (高2)、那須 陽彦 (高1)

1. 目的

今までは観測したライトカーブを使って、小惑星の形状決定を行ってきた。しかし、自転軸の状態を厳密に決定しない限り、再現実験の精度を上げることはできない。さらに、自転軸を厳密に決定するには、少なくとも3～4年分の観測データが必要である。そこで、新たに小惑星センターの観測資料を加え、自転軸の傾斜角を計算で求める手法を確立した。その上で、より厳密にライトカーブを再現する実験手法を確立した。

2. 研究の手法

(1) 小惑星のライトカーブの観測を行う。(本校の望遠鏡にて画像を撮影する。)

観測データが不足する場合は、小惑星センターのデータを入手する。

(2) 小惑星の縦横の比、自転軸の傾斜角を求める。(光度変化幅の極大値と極小値を用いる)

小惑星の短軸の長さ a 、長軸の長さ b とする。

① 光度変化幅 N のとき $\frac{b}{a} = 2.5^N$ が成り立つ。

② 光度変化幅 n のとき

観測を行う際に見える二軸のうち短軸を l とおくと、 $\frac{b}{l} = 2.5^n$ が成り立つ。公転面と自転軸に垂直な線とが成す角が θ となるので、自転軸を y 軸、自転軸に垂直な線を x 軸にとり、線分 l と楕円の周の交点を (x, y) とし、楕円の方程式を用いて、 l を求める。

$$\tan\theta = \frac{y}{x} \cdots (i) \quad (i) \sim (iii) \text{ より、} l^2 = \frac{(ab)^2}{(b^2 + a^2 \tan^2 \theta)}$$

$$l = \sqrt{x^2 + y^2} \cdots (ii) \quad a = \frac{1}{2.5^N} b, \quad l = \frac{1}{2.5^n} b \text{ を用いると、}$$

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1 \cdots (iii) \quad \tan^2 \theta = \frac{\left(\frac{1}{2.5^n}\right)^2 - \left(\frac{1}{2.5^N}\right)^2}{\left(\frac{1}{2.5^N}\right)^2 \left\{1 - \left(\frac{1}{2.5^n}\right)^2\right\}}$$

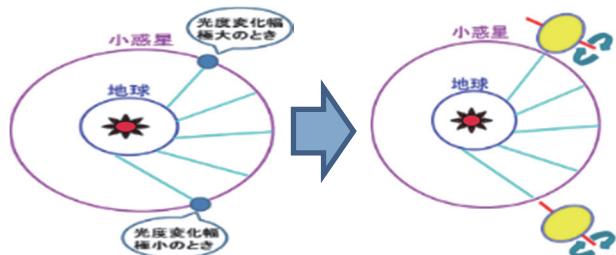
この式に、データの n 、 N を代入することで、自転軸の傾きを求めることが可能になった。

(3) 自転軸が傾いている方向を求める。(過去の本校観測と小惑星センターの観測資料用)

1 周の公転軌道上で場所ごとの光度変化幅を算出し、光度変化幅の極大と極小の場所を決定することで自転軸の向きを決定する。

(4) 粘土モデルを用いてライトカーブを再現する。

観測時の太陽、地球、小惑星の位置関係を再現し、ハロゲンライト、ビデオカメラ、紙粘土、赤道儀などを用いて動画撮影を行い、得た動画を limovie (動画変換ソフト) にかけることでライトカーブを得る。この方法で仮説を立てた粘土モデルについて、ライトカーブの作成を行う。



3. 研究手法の確立

小惑星エロスを用いて、この手法が正しいかどうかの検証実験を行う。

エロスはすでに形状が分かっており、その形状から粘土モデルを作成する。軸の角度を 15° ずつ変え、実験より得た n の値を式に代入し θ を求める。実験室で実際に設定した角度と計算で得た θ の値を比べて誤差を出す。誤差は最大約 5° なので、この式は精度の高いものだと考えられる。

実験条件	n(等級)	θ (度)	誤差(度)
90°	0.01	87.9	2.09
75°	0.3	76.9	-1.93
60°	0.68	65.4	-5.44
45°	1.1	47.7	-2.66
30°	1.3	34.1	-4.11
15°	1.43	19.5	-4.5
0°	1.49	0	0

4. 小惑星カリオペの形状決定

小惑星「カリオペ」の形状決定を、今回用いた手法で行う。

(1) 小惑星の観測データよりライトカーブを得る。(18夜分のデータ)

(2) 小惑星カリオペの縦横比を求める。

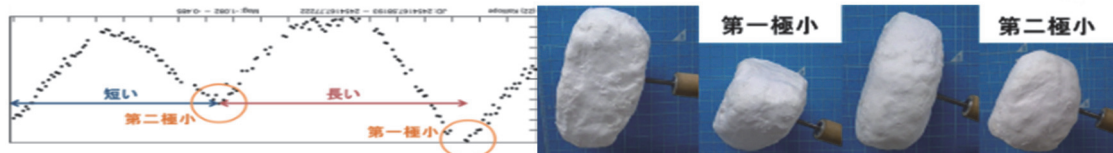
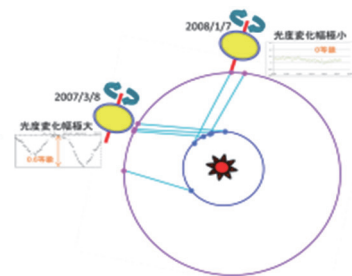
カリオペの光度変化幅は、最大で 0.3 等級、最小で 0.04 等級であるので、 $N=0.3$ 、 $n=0.04$ である。縦横比は、 $2.5^N = 2.5^{0.3} = 1.316382$ となる。光度変化幅の極大値と極小値より自転軸の傾斜角を求める。 $N=0.3$ 、 $n=0.04$ を得られた式に代入すると $\theta=71.2^\circ$ となる。

(3) 自転軸が傾いている方向を求める。

日付ごとの光度変化幅を観測したライトカーブより算出し光度変化幅の極小と極大の位置を調べることで自転軸を決定する。

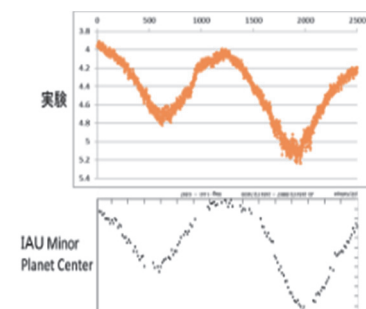
(4) 小惑星カリオペの形状を推定し、粘土モデルで再現する。

カリオペのライトカーブの特徴は、極小値で光度に差があることと自転の半周期の時間の長さに差があることである。



(2) とこれらのことから、カリオペの形状を推定し、このような粘土モデルを作成した。光度変化幅が極大の時 (2007/3/8) のように自転軸を設定し再現実験を行うと、粘土モデルと IAU Minor Planet Center のライトカーブが一致した。

(2007/3/5) (2008/3/5) でも一致する部分が見られたことから、この手法と粘土モデルは信頼性の高いものであると考えられる。



5. 結論

自転軸の状態を厳密に決定する手法を確立できた。その結果、粘土モデルでの再現実験で得られるライトカーブが、極めて高い精度で一致するようになった。

6. 参考文献

「IAU Minor Planet Center」 (NASA) : 小惑星に関する基礎資料、ライトカーブステラナビ Ver9 : 観測する小惑星の位置計算を行う。