

ライトカーブを用いた小惑星の形状の推定

愛媛県立松山南高等学校 ライトカーブ班

前田瀬那 塚本萌夢 指導教諭 秋長由香

1. 研究目的

ライトカーブとは、自転により時間の経過とともに変動する天体の明るさをグラフにして表したものである。

北本ら(2017)では、ライトカーブには小惑星の形状や自転周期が現れることを利用し、形状や自転軸が複数あることが分かっている小惑星から作成したライトカーブと、その形状に似せた模型のライトカーブとの比較を行っている。しかし、あまり高い精度とは言えず、そこから未知の小惑星の形状を推定することは困難であった。そこで、モデル実験を行い、ライトカーブと模型の形状との関係を詳しく分析することで小惑星の形状の推定を可能にすることを本研究の目的とした。

2. 方法

(1) さまざまな形状の模型を用いた光度変化の測定 (実験 i)

ア 模型の作製

紙粘土を使って球、円柱、三角柱、立方体、直方体Ⅰ、直方体Ⅱを作製した(図1)。直方体の底面を面A、側面を面Bとし、面A:面Bが1:2となるものを直方体Ⅰ、1:3となるものを直方体Ⅱとした。

イ 光度変化の測定

① 一定の速さ(6秒/周)で回転する回転台に模型を乗せた(図2)。

② 模型に光源の光を当て、反射した光の光度の変化を、光センサー(Dr. duck)を用いて観測した。(この際、周囲の光を遮断するために筒を設置した。)

③ グラフ作成ソフト(pico scope)でライトカーブを作成した。

ウ データの分析

グラフの山の数、グラフの谷から山の高さ、グラフの山から山の幅に注目し、ライトカーブと模型の形状との相関を分析した。

(2) 立方体と台形の模型を用いた光度変化の測定 (実験 ii)

立方体と台形の模型(図3)を作製し、実験 i の実験装置で光源の位置を変化させて同様の手順で実験を行った(図4)。

(3) ライトカーブの比較 (実験 iii)

北里ら(2007)により作成された小惑星イトカワのライトカーブを実験 i、ii の結果から分析し、実際のイトカワの写真を参考に作成したモデルのライトカーブと比較した。



図1 紙粘土で作製した模型



図2 実験装置

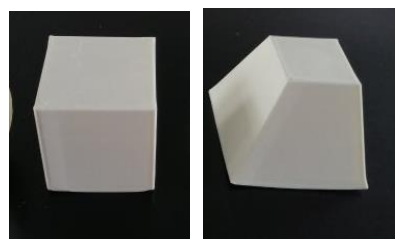


図3 模型

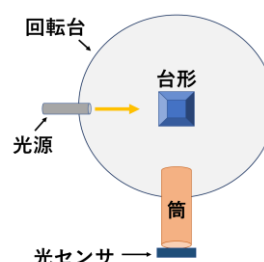


図4 光源の位置を変化させた様子

3. 結果

(1) 実験 i の結果

実験 i の結果を表 1 に、ライトカーブを図 5 に示す。なお、図 5 は横軸が経過時間(秒)、縦軸が相対的な光度である。

(2) 実験 ii の結果

実験 ii のライトカーブを図 7 に示す。なお、図 7 は横軸が経過時間(秒)、縦軸が相対的な光度である。

(3) 実験 iii の結果

北里ら(2007)により作成された小惑星イトカワのライトカーブ(図 9)を実験 i、ii の結果から分析し、実際のイトカワの写真(図 8)を参考に作成したモデル(図 10)のライトカーブと比較した(図 11)。

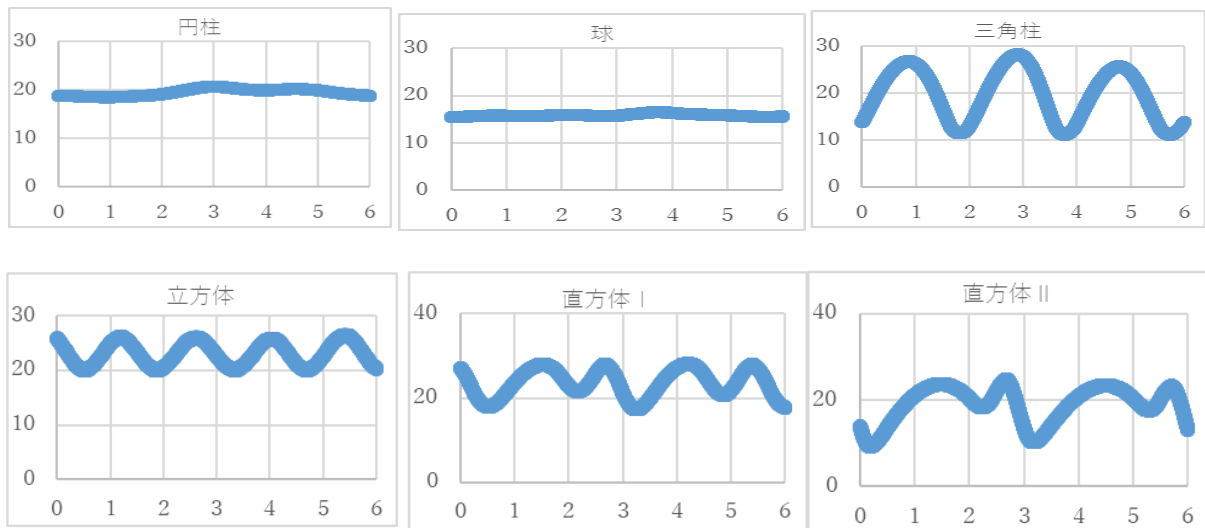


図 5 実験 i のライトカーブ

表 1 実験 i の結果

	①山の数	②高さ		③幅	
球	0	0	0	0	0
円柱	0	0	0	0	0
三角柱	3	13.7	1.89		
立方体	4	6.2	1.36		
直方体1:2	4	6.4	10	1.15	1.65
直方体1:3	4	6.4	14.3	0.75	1.29

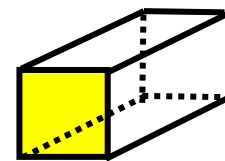


図 6 底面

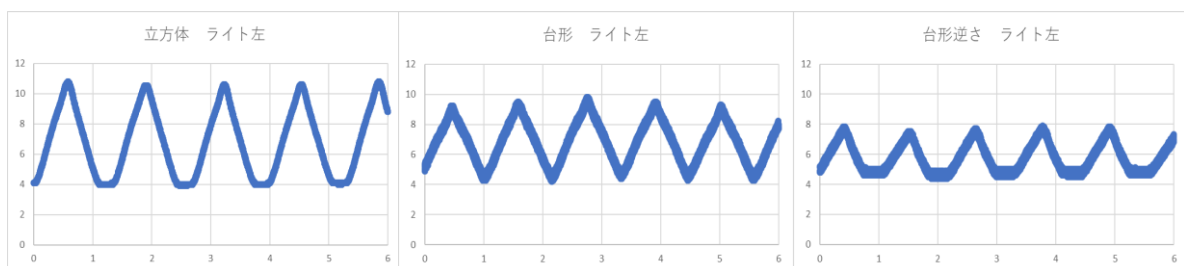


図 7 実験 ii のライトカーブ

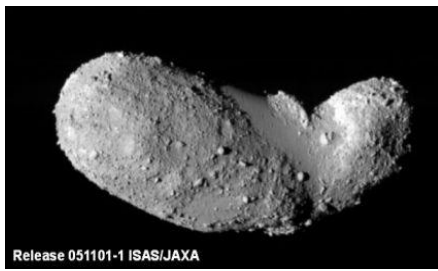


図8 小惑星イトカワ
(JAXA ホームページより引用)

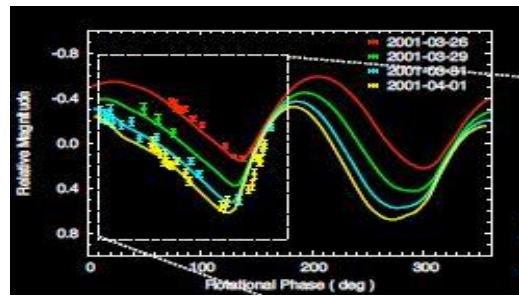


図9 イトカワのライトカーブ (北里ら, 2007)

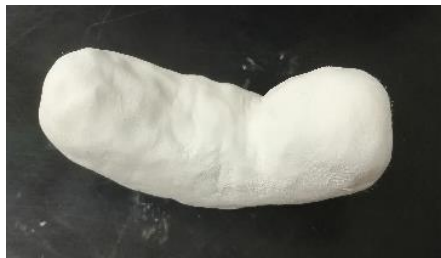


図10 イトカワの模型

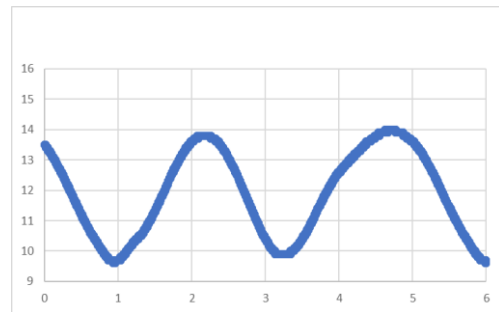


図11 イトカワの模型のライトカーブ

4. 考察

表1の①から山の数と面の数は対応していた。直方体のライトカーブに緩急の変化が見られるのは、光源とセンサの位置関係によるものと考えられる。また、面積の小さい面はより光源に近づくため山は高くなるが、面積の大きい面と比べ、あまり山の頂点には大きな変化が見られなかった。これは、面積が大きいほど明るさが増す為と考えられる。

図7のライトカーブは図5より変化が明瞭になった。これは、左から光を当てることによりセンサに届く光が完全に遮断される瞬間があるため、緩やかなカーブを描けなかったと考える(図12、図13)。

光源や模型、光センサの位置関係により得られる結果が変動した。そのため、ライトカーブから天体の位置を推定できる可能性がある。しかし、実際の天体は各天体間の距離が大きく離れており、その影響の大きさは異なる可能性がある。

イトカワの模型を使用し、様々な条件でライトカーブを作成したが、最も似通っていたものは図11のライトカーブだった(図14)。山の数は対応しているが、初めの山から初めの谷まで、初めの谷から二度目の山までの緩急が再現しきれなかった。直方体のライトカーブの分析結果から考察すると、イトカワのライトカーブが作成された際の太陽とイトカワ、観測点の位置関係が図11の作成時に再現できていなかったためであると考えられる。今回は模型に光をあてる角度を考慮していなかったため、イトカワのライトカーブを完全には再現できなかった可能性もある。そのため、今後は光を照射する角度を変化させて分析を行う必要がある。また、異なる形状が同じライトカーブを示す場合の選別法を追究していく必要がある。

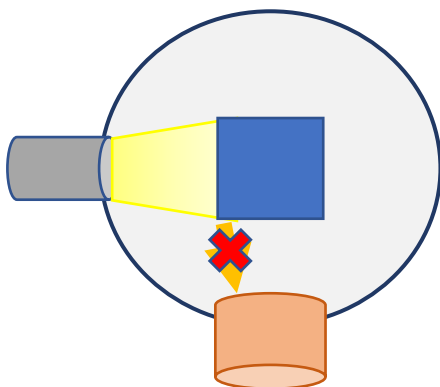


図12 光源がセンサの左側

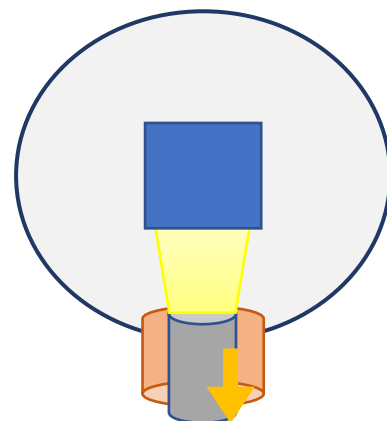


図13 光源がセンサと同じ位置

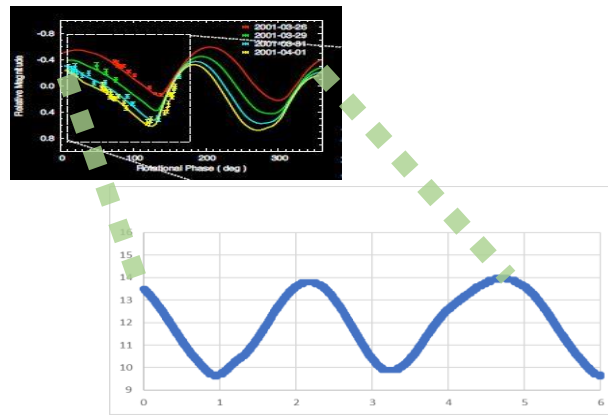


図14 ライトカーブの比較

5. まとめ

本研究では、模型のライトカーブは模型の面の数とグラフの山の数、模型の面積とグラフの山の幅が対応し、光源との距離、光源とセンサの位置関係によっても得られる結果が変動することが分かった。また、異なる形状が同じライトカーブを示す場合についての課題が残った。

6. 参考文献と参照したサイト

- ・北本菜々花ら(2017)「光度変化を利用した小惑星の解明～微弱な変化から、全体の形状を推定する～」平成29年度愛媛県立松山南高等学校課題研究
- ・北里宏平ら(2007)「地上観測によって検出された小惑星イトカワの YORP 効果」 http://www.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/////////RESEARCH/symp2007/pdf/kiso2007_kitasato.pdf
- ・はやぶさ2プロジェクト <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20180323/>
- ・JAXA 宇宙情報センター https://spaceinfo.jaxa.jp/ja/utyu_taiyokei_itokawa.html