

## 食変光星の変光シミュレーション

東北公益文科大学 ジュニアドクター鳥海塾 山本研究室：  
木村 直仁（中等4）【新潟県立村上中等教育学校】

### 要 旨

食変光星の物理的挙動の視覚化は、その学習を大いに助けるだろう。そこで本研究では、二体系の食変光星の運動および光度曲線をルンゲ=クッタ法を使用して数値計算し、現象を視覚化する独自シミュレーションを開発した。

#### 1. 序論

食変光星とは、連星の公転運動によって互いを隠しあうことで変光する星である。観測では一つの変光星として見え、その形状や運動は理論モデルと光度曲線を比較し推測される。この食変光星をはじめとする変光星の光度変化機構の学習において、数式のみでは現象の直感的理解が困難である。特に物理パラメータに対する挙動の可視化は理解を促進すると考えられる。しかし多くの教材ではパラメータを変更した試行は不可能であり、手軽なシミュレーションツールも多くない。そこで学習者が能動的に理解できる食変光星のシミュレーションの研究を進めた。

#### 2. シミュレーションの概要

本研究では、特に二体系の食変光星における光度変化の要因の理解を目的とし、視覚化するシミュレーションを作成した。本シミュレーションは、連星系の幾何学的な配置と、観測される光度曲線を同時に表示することで、両者の対応関係を視覚的に把握できるよう設計されている。

シミュレーション画面には、連星系を構成する2つの星の位置関係を示す配置図と、対応する光度曲線が表示される。ユーザは星の質量や半径、軌道傾斜角などの物理パラメータを操作でき、それに応じて結果が変化する。

#### 3. 方法

##### (1) 計算モデル

二体の球状の恒星からなる分離型連星を考え、物理パラメータや初速度、初期位置を図1のように与えて二体問題として扱う。

##### (2) 計算条件

天体の運動はニュートンの運動方程式に従うものとし、他方からの重力のみを受け同一平面上を公転すると仮定した。

##### (3) 計算手法

時間発展の計算に4次のルンゲ=クッタ法を用い、一定の時間間隔 $dt$ で位置と速度を更新した。

光度曲線は周縁減光を無視し、各ステップに計算した、フラックスの最大値に対する相対値を光度曲線の値とした。

##### (4) 実装環境

使用言語：JavaScript 使用ライブラリ：Chart.js[1] 実行環境：ウェブブラウザ

#### 4. 使用例

本シミュレーションの使用例として、連星系の軌道傾斜角（図2参照）による挙動変化を調べた。傾斜角を0度から増加させると、連星の重なりが減少し光度曲線において極小が浅くなる様子が確認できた（図3）。

物理パラメータ：  $M_1 = 3 M_\odot$ ,  $R_1 = 3 R_\odot$ ,  $L_1 = 200 L_\odot$ ,  $M_2 = 1 M_\odot$ ,  $R_2 = 4 R_\odot$ ,  $L_2 = 50 L_\odot$ ,

軌道半径  $a = 0.05$  [au], 軌道離心率  $e = 0$ , 昇交点経度  $\Omega = 0^\circ$ , 近点引数  $\omega = 0^\circ$ ,  $dt = 0.02$  [day]

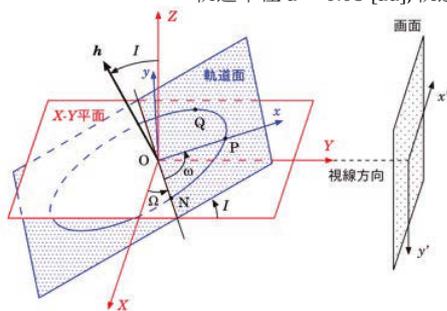


図2. 座標の回転と軌道傾斜角 $I$

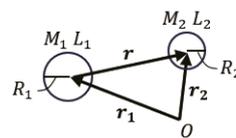


図1. 2体の質量 $M_n$ , 半径 $R_n$ , 輝度 $L_n$ , 位置 $r_n$

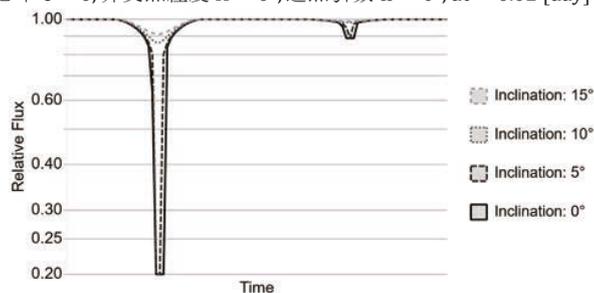


図3. 光度曲線の軌道傾斜角 $I$ による変化

#### 5. 結論

本シミュレーションの使用により、食変光星の学習において概念の理解を促進することが期待される。また、変光星の観測や研究における変光予測やパラメータ探索を支援する手段となりうる。

一方、周縁減光による光度曲線への影響や三重連星系以上の天体については、本シミュレーションでは扱っていない。そのため、今後はより現実的なモデルの作成をしたいと考えている。

#### 6. 謝辞

研究の指導・協力をしていただいた、東北公益文科大学山本研究室の皆様、この場を借りて感謝申し上げます。本研究は東北公益文科大学ジュニアリサーチャー制度の支援を受けています。

#### 参考文献

- [1] Chart.js (JavaScriptグラフ描画ライブラリ), Chart.js Developers, <https://www.chartjs.org/> (2025年12月14日閲覧)
- [2] 福島登志夫, 天体の位置と運動(シリーズ現代の天文学13巻), 日本評論社, 2017, 260p.