

恒星光度曲線のモデルフィッティングによる黒点の情報推定

上野 詠名 (高1) 【クラーク記念国際高等学校】

要 旨

本研究では、恒星フレアの発生源となる黒点の情報を推定するため、黒点による光度曲線モジュレーションのモデル構築を試みた。モデル作成、模擬データでの検証・評価を経て、フレア活動が活発なM型連星CR DraのTESSによる観測データにフィッティングを行った。観測データとモデルの光度曲線は概ね一致し、黒点のパラメータの推定に成功したが、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) による解析からはパラメータ推定の限界も示唆された。

1. はじめに

太陽でのスーパーフレア[1]は地球に甚大な影響を及ぼす可能性があるが、発生頻度が低いため、現象の理解を深めるにはスーパーフレアを頻発する他の恒星を調べる必要がある。先行研究から、フレアは恒星表面の黒点と関係していることが示されている[2]。太陽以外の恒星表面は直接観測が困難であるため、本研究では恒星および黒点の情報を仮定し、それに対応する光度曲線のモジュレーションを再現するモデルを構築し、観測データにフィッティングすることで主に黒点情報を推定することを目指した。

2. 方法

- (1) 以下のパラメータを含む恒星および黒点の条件を設定する。
 - ・ 恒星のインクリネーション
(恒星自転軸の視線方向からの傾き)
 - ・ 黒点の緯度・経度、角半径、暗さ
 - ・ 恒星の自転周期
- (2) 光度曲線模擬データを生成し、フィッティングを実施。模擬データの値と最適モデルとの誤差からモデルの精度を評価。
- (3) TESSによるCR Dra (フレア活動が活発なM型連星[3]) の観測データに対し、フレアは除外したうえでフィッティングを実施 (自転周期は先行研究より1.984日として固定[4]) 。
- (4) フィッティングが局所解に陥っていないか確認するため簡易なMCMCを実施。

3. 結果と考察

インクリネーション	緯度	経度	角半径	暗さ
85.7	85.5	211.7	29.1	1

表1. フィッティング後の最適パラメータ

CR Draの観測データと黒点1つを仮定したモデル光度曲線は、良好な一致を示した (図1)。最適パラメータからは黒点の直径約60°、緯度80°と高緯度・大型であると推定されたが、黒点の暗さが1 (恒星表面に対する明るさが0) と、違和感のある数値となった (表1、図2)。MCMCでは収束を確認できたが、パラメータの縮退・尤度の多峰性がみられた。

4. 今後の展望

本研究はフレアと黒点の関係を調べるための準備的段階である。今後はより長期間の観測データを解析し、黒点の成長過程や、黒点面積とフレア発生率の関係を研究したい。また、複雑な波形をもつ光度曲線に対して複数黒点モデルを適用し、パラメータ推定の可能性と限界を評価したい。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、前原裕之先生 (国立天文台)、柴田一成先生 (京都大学/同志社大学)、伊藤真之先生 (神戸大学) にご指導とご協力をいただきました。この場を借りて深く感謝申し上げます。本研究は、JST次世代科学技術チャレンジプログラムの一環であるROOTプログラムの支援を受けて実施しました。

参考文献

- [1] Kazunari Shibata et al., Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 65, Issue 3, 25 June 2013, 49.
- [2] Yuta Notsu et al., The Astrophysical Journal. 2013. Volume 771, Number 2.
- [3] James A G Jackman et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 529, Issue 4, April 2024, Pages 4354–4368.
- [4] J. R. Callingham et al., A&A, Volume 648, April 2021, The LOFAR Two Meter Sky Survey, A13.

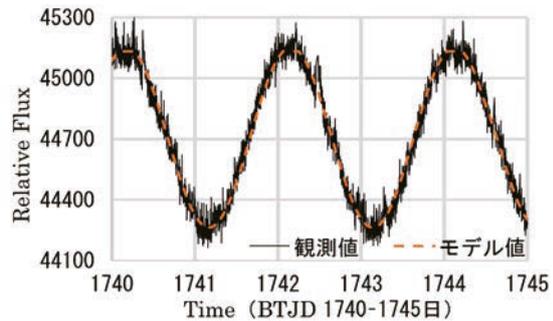


図1. 観測光度 (CR Dra) とモデル光度の比較

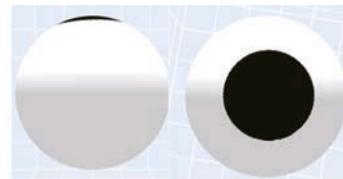


図2. フィッティング後のCR Dra恒星表面推定図
左: 視線方向から見た図 (インクリネーション85°)
右: 黒点がある側の自転軸方向から見た図