

本研究のポイント

- ▶ 黒点による恒星の光度曲線モジュレーションのモデルを構築
- ▶ TESSによる CR Dra観測データをモデルフィッティング
- ▶ 黒点情報を推定
- ▶ PDMによる周期解析

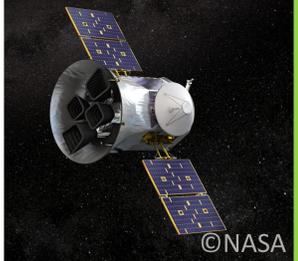
研究背景と目的

太陽でもスーパーフレア($10^{33}\sim 10^{39}\text{erg}$)が起こる可能性が示唆されており、地球の電力網や通信インフラ等に深刻な影響を与える可能性がある。
フレアは黒点や磁場領域と深く関連しているが、遠方の恒星は直接観測が困難なため光度曲線に基づく黒点情報の推定を試みた。



本研究では、光度曲線モデルを構築し、観測データへのフィッティング、周期解析、MCMCなどにより黒点情報の推定を行った。

データとしては、TESS衛星による CR Draconis (CR Dra:スーパーフレアが発生するM型連星)の観測データを用いた。



解析 1： 自転周期の決定

■ 周期解析:PDM (Phase Dispersion Minimization)法

- ▶ 約27日間の観測データを使用
- ▶ 観測データは、全てフレアを除去後に解析

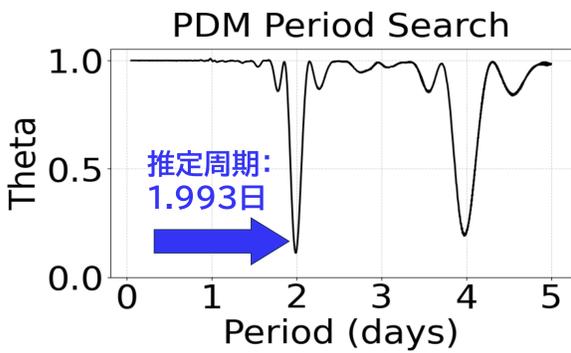


図1 PDM解析の結果

$$\theta = \frac{\sum_{j=1}^M \nu_j \sigma_j^2}{\nu \sigma^2}$$

M : 位相ビンの総数
 ν_j : ビン j のデータ数
 σ_j^2 : ビン j の光度の分散

位相ビンの分散総和
光度全体の分散

▶ 先行研究で推定された自転周期:1.984日(Callingham et al., 2021)との差(約0.45%)は小さいと判断し、以下では先行研究の値を使用

■ 光度曲線折り畳み

- ▶ 1.993日周期で波形がほぼ一致

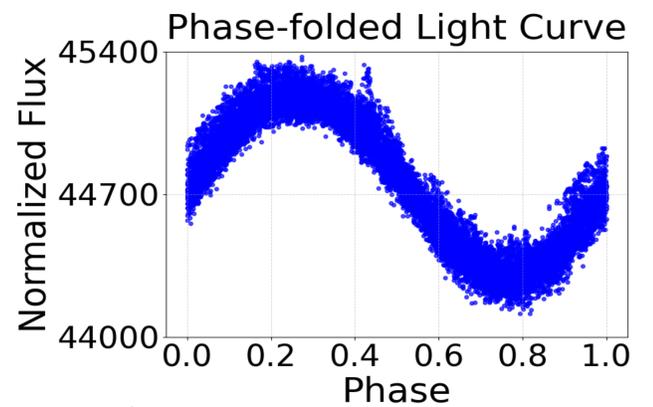
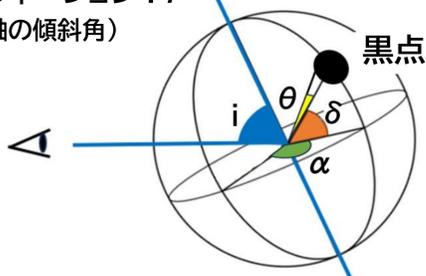


図2 フレア除去後の光度曲線を周期で折り畳んだ結果

解析 2： モデルフィッティング、黒点情報推定、MCMC

■ モデルのパラメータ

- ▶ 黒点の緯度: δ
- ▶ 黒点の経度: α
- ▶ 黒点の角半径: θ
- ▶ 恒星のインクリネーション: i (自転軸の傾斜角)



■ 光度曲線フィッティング

- ▶ 単一黒点を仮定したモデル光度曲線は、良好な一致を示した(1740-1745日の5日間)
- ※ S/N=33.74781685

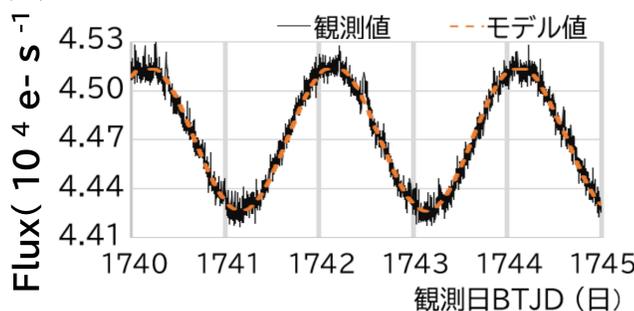


図3 観測光度 (CR Dra)とモデル光度の比較

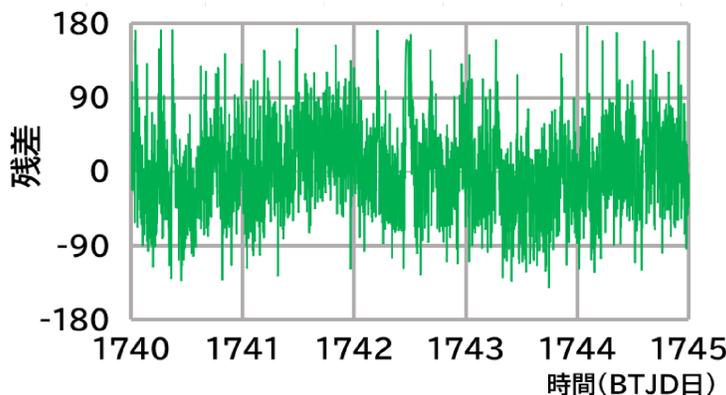


図4 観測データとモデルの残差プロット

■ 推定された黒点

- ▶ 単一黒点を仮定:高緯度・大型

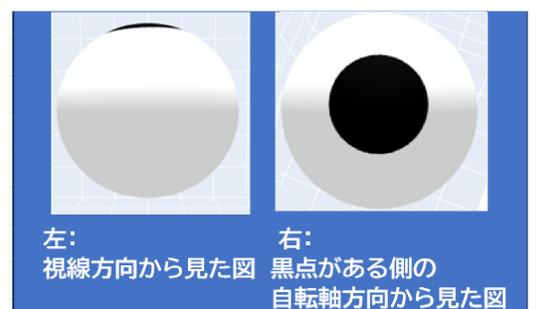


図5 MCMCから得られた黒点の位置とサイズ

■ 黒点のパラメータ推定の流れ

- 1 光度曲線モデルを構築
- 2 CR Draの観測光度曲線からフレア除去
- 3 観測光度曲線にモデルをフィッティング → 黒点等の最適値を決定
- 4 観測光度曲線と上のモデルにより MCMC (Markov Chain Monte Carlo)解析 → 黒点等のパラメータを推定

■ MCMC解析

- ▶ 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

表1 MCMCよりインクリネーションと黒点パラメータの中央値 (Median) と68%信頼区間

黒点パラメータ	Median	68% 信頼区間
自転軸傾斜角	76.2°	69.4° - 81.4°
緯度	81.2°	77.2° - 83.5°
経度	211.8°	210.8° - 212.8°
角半径	25.2°	20.8° - 28.3°
黒点の相対暗度	0.7	0.6 - 0.9

まとめと展望

- ・黒点による恒星の光度曲線モジュレーションのモデルを構築し、TESSによる CR Draの観測データを用いて、単一黒点を仮定したフィッティングから黒点パラメータ(位置・大きさ・暗さ等)を推定した。
- ・PDMにより周期を推定し、先行研究とほぼ矛盾ない値を得た。
- ・簡易なMCMCで黒点のパラメータを推定し、収束を確認できた。
- ・今後、複数黒点の場合も検証し、さらに他のM型矮星についても同様の解析を実施して黒点の振る舞いなどを解明したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、的確なご指導と温かいご助言をくださった前原裕之先生(国立天文台ハワイ観測所岡山分室)、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)に心より感謝申し上げます。本研究はJSTグローバルサイエンスキャンパスおよび次世代科学技術チャレンジプログラムの支援を受けROOTプログラムの枠組みで実施しています。