

Gaia DR3 を用いた古典的セファイド変光星の周期-光度関係の導出

GOH TUNG WEI (高1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、
飯田 響生、竹内 悠 (高1) 【愛知県立明和高等学校】、
丹羽 玲奈、山崎 杏菜 (中3) 【名古屋大学教育学部附属中学校】

要 旨

本研究では、位置天文衛星 Gaia の Data Release 3 によって提供されるデータから、プログラミングを用いて古典的セファイド変光星の周期-光度関係を導出した。得られた周期-光度関係から求めた距離は、年周視差の逆数から求めた距離よりも文献値に近く、遠方での高精度な距離推定を実現した。

1. はじめに

古典的セファイド変光星 (CCs) は天体の膨張、収縮に伴い明るさが変化する脈動変光星の一種である。CCs には変光周期と光度に周期-光度関係 (PL 関係) があり、これを利用して天体までの距離を測定できる。本研究では、CCs を使ってより正確な距離が求められるように、天の川銀河の CCs の高精度な PL 関係を導出した。

2. データ

Gaia 衛星 [1] の観測に基づく公開データ Gaia Data Release 3 (DR3; [2]) から CCs の年周視差・ G 等級・変光周期のデータ [3] を取得した。

3. 解析手法

まず、天の川銀河内の全ての CCs のデータを用いて PL 関係 α を導出し、後述する誤差の影響が小さい天体のみを用いて PL 関係 β を再導出した。

3.1. CCs の PL 関係の導出

全ての CCs を用いた PL 関係 α の導出では、年周視差の逆数から導出した距離 d_p (pc)、見かけの G 等級 m_G (mag) と式1を用いて絶対等級 M_G (mag) を導出する。

$$M_G = m_G + 5 - 5 \log_{10} d_p \quad (1)$$

次に、DR3 から取得した変光周期 P (day) と式1で計算した絶対等級 M_G を用いて、最小二乗法を用いた直線フィッティングによって PL 関係 α を求める。

$$M_G = a \log_{10} P + b \quad (2)$$

ここで a と b はフィッティングで得られる定数である。

3.2. 誤差が小さい周期-光度関係の導出

PL 関係 α の導出に用いた M_G は、年周視差の誤差や星間微粒子 (ダスト) による減光の影響を受けているため、正確な値ではない。そのため、正確な M_G が得られている天体のみを用いることにより、PL 関係 α よりも誤差が小さい PL 関係を導出する。まず、年周視差の相対誤差が 20% を超える天体を除外する。次に、太陽からの距離が 2 kpc 以上遠の天体を除外することで、ダストによる減光が大きい天体を除く。ここで、式2の右辺と変光周期 P を用いて、式3のように期待絶対等級 M_α (mag) を計算する。

$$M_\alpha = a \log_{10} P + b \quad (3)$$

この M_α を式1に代入して期待距離 d_α (pc) を計算し、観測距離 d_p との差の絶対値 Δd を外れ値の指標として定義する。外れ値指標 Δd の平均値 μ と標準偏差 σ を計算し、 $\Delta d > \mu + \sigma$ を満たす天体を外れ値として除外する。この操作を除外される天体なくなるまで反復的に実行する (シグマクリップ)。ここで残った天体を最終サンプルと呼ぶ。最終サンプルに対し、外れ値の影響を抑えるため残差の大きいデータ点に対して重みを低下させる直線フィッティングにより PL 関係 β を導出する。

4. 結果と考察

図1は PL 関係 α と PL 関係 β をフィッティングした結果である。背景の灰色の点が全ての CCs、三角形が最終サンプルで、破線が PL 関係 α : $M_G = -1.6 \log_{10} P + 0.29$ 、実線が PL 関係 β : $M_G = -2.1 \log_{10} P - 1.1$ である。

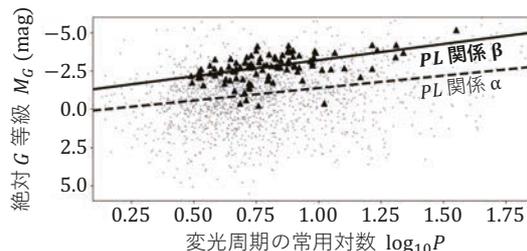


図1 PL 関係 α と β のフィッティング

PL 関係 α と β からそれぞれ式1を用いて導出した距離 d_α , d_β (pc) を文献値と比較する。[4]に従い、個々の CCs の、ダストによる減光量と重元素量を加味した PL 関係から導出した距離を文献値として d_α , d_β との差 δd_α , δd_β (kpc) を計算する。

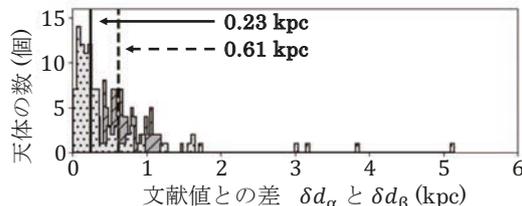


図2 導出した距離の文献値との比較

図2は δd_α と δd_β をヒストグラムに表したものである。図中の斜線で塗られたヒストグラムは δd_α 、点で塗られたヒストグラムは δd_β であり、破線が δd_α の中央値、実線が δd_β の中央値である。図2において δd_β の方が δd_α よりも中央値が小さいため、PL 関係 β から導出した距離の方が文献値に近く、より誤差の小さい PL 関係を導出することに成功したと結論づけられる。

5. 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室の中野 覚矢博士後期課程学生、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生、愛知県立明和高等学校の中村謙之先生にご指導をいただきました。厚くお礼申し上げます。

6. 参考文献

- [1] Gaia Collaboration et al. 2016, A&A, 595, A1.
- [2] Gaia Collaboration et al. 2023, A&A, 674, A1.
- [3] Ripepi et al. 2023, A&A, 674, A17.
- [4] Gaia Collaboration et al. 2023, A&A, 674, A37.