

Gaia DR3 を用いたプレアデス星団メンバーの同定 — ガウス混合モデルを用いたクラスタリング解析 —

桑原 大揮 (高1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、渡邊 陽音 (高1) 【愛知県立明和高等学校】

概要

本研究では、位置天文衛星 Gaia のデータを基に、クラスタリング解析によってプレアデス星団に属するメンバーを同定した。また、同定した星団メンバーを色-等級図にプロットし、星の進化モデルをフィッティングすることで、プレアデス星団の年齢を推定した。その後、推定した年齢と文献値が整合することを確かめた。

1. はじめに

星団は同じ領域で多数の星がほぼ同時に誕生することで形成される。そのため、星団に属する星は、ほぼ同一の距離と年齢を持ち、共通の運動を示す。本研究では、これらの性質を利用して、クラスタリング解析によりプレアデス星団 (M45) に属する星団メンバーを同定する。クラスタリング手法には、ガウス混合モデル (GMM; [1]) を用いる。GMM は複数の正規分布の重ね合わせによってデータ分布を近似し、いくつかの集団に分類する手法である。

2. データ

本研究では Gaia Data Release 3 [2] によって公開されているデータを使用する。取得するデータの範囲は、M45 のおおよその中心座標である $R.A. = 56.75 \text{ deg}$, $decl. = 24.12 \text{ deg}$ を中心に半径 6 deg の円に含まれる天体とする。この範囲を設定することで、M45 の外縁部に位置する星まで解析対象にすることができる。この範囲から、約103万個の星を取り出すことができた。クラスタリング解析には、星団に属する星の距離と運動方向が一致する性質を利用する。そのため、星の距離を表す年周視差と天球面上の星の運動を表す固有運動のデータを用いる。

3. 解析方法

本研究では GMM を用いたクラスタリング解析によって M45 のメンバーを同定した。それらを縦軸が絶対 G 等級、横軸が G_{BP} 等級 - G_{RP} 等級の色-等級図にプロットした上で、星の進化モデルでフィッティングし、星団の年齢を推定した。

GMM では、データを分割する数を事前に指定する必要がある。以下の条件 (1), (2) を満たすまでデータの分割数を段階的に増加させ、その条件を満たす最小の分割数を採用した。(1) 赤経方向および赤緯方向の固有運動 (μ_{α}^* , μ_{δ}) を軸とする散布図にクラスタリング結果を表示した際に、 $(\mu_{\alpha}^*, \mu_{\delta}) \approx (20.0, -45.0) \text{ mas/yr}$ 付近の星集団が明確に分離していること。(2) 年周視差 ϖ を横軸とするヒストグラムにおいて、 $\varpi \approx 7.5 \text{ mas}$ 付近の星集団が明確に分離していること。(1) と (2) は目視で明確に確認できるグループであり、対応する星を M45 のメンバーとして採用した。

次に、得られた M45 のメンバーを色-等級図にプロットし、PARSEC等時線 [3] という星団の進化モデルと比較する。等時線は色-等級図上で星団の年齢に応じて形状が変わるため、対数年齢 $\log \text{Age} = 7.0-9.0$ を 0.1 刻みで変化させたものをプロットした。等時線と M45 のメンバーが最も一致する $\log \text{Age}$ を求め、その値から M45 の年齢を推定した。

4. 結果

データの分割数を 11 とした際に、前述した条件が初めて満たされた。その結果を図1に示した。図中の白い十字が M45 のメンバーを表す。背景は DSS の可視光撮像である。この解析により、同定された M45 のメンバーの数は 1610 個であった。次に、得られた星団メンバーを色-等級図にプロットし、最もよく一致する等時線とともに示したものを図2に示した。図中の星印が星団メンバーを表し、黒い破線が $\log \text{Age} = 8.4$ のベストフィット等時線を表す。なお、 $\log \text{Age} = 8.4$ は約2億歳に対応する。

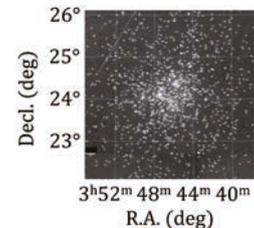


図1. M45の天体画像

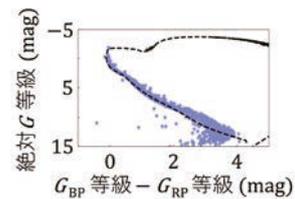


図2. M45の色-等級図

5. 考察と結論

図1より、領域中心で星団メンバーの密度が高くなっているため、GMM によって星団メンバーが適切に同定されていると考えられる。また、図2より、星団メンバーが単一の主系列上に分布するため、共通年齢の星団メンバーが抽出されていることが示唆される。最も一致する等時線の年齢 $\log \text{Age} = 8.4$ は先行研究 [4] によって報告されている M45 の年齢 $\log \text{Age} = 8.2$ にほぼ一致する。本研究と先行研究に差が生まれる原因には、ダストによる星間減光や金属量の影響が考えられる。また、一部の等時線から外れて分布している星は、前景星や背景星の混入、あるいは連星の影響と整合的である。

以上の結果から、プログラミングによって解析を自動化することで、人為的な判断を介さずに、高精度かつ高速な星団メンバーの同定に成功したと結論づけられる。本研究では、M45 の観測データのみを使用した。今後は異なる散開星団のデータにも本手法を適用し、その星団メンバーの同定を行いたい。

6. 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程学生の中野覚氏、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。ここに深く感謝申し上げます。

7. 参考文献

- [1] Pedregosa et al. (2011), Journal of Machine Learning Research. 12, 2825. doi:10.48550/arXiv.1201.0490
- [2] Gaia Collaboration et al. (2023), A&A, 674, A1. doi:10.1051/0004-6361/202243940
- [3] Bressan et al.(2012), MNRAS, 427, 1, 127. doi:10.1111/j.1365-2966.2012.21948.x
- [4] Stauffer et al. (1998), APJL, 499, 2, L199. doi:10.1086/311379