

東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学40cm望遠鏡による散開星団M29の試 験観測

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2022-12-27
	キーワード (Ja):
	キーワード (En): astronomy, telescope, stars, open
	cluster
	作成者: 下井倉, ともみ, 浜田, 麻比呂, 土橋, 一仁
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/00174483

東京学芸大学40cm望遠鏡による散開星団M29の試験観測

下井倉ともみ*1・浜田麻比呂*1・土橋 一仁*2

宇宙地球科学分野

(2022年6月27日受理)

SHIMOIKURA, T., HAMADA, M., and DOBASHI, K.: Test Observations of the Open Cluster M29 Using the 40cm Telescope at Tokyo Gakugei University. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 74 : 59-66. (2022) ISSN 2434-9380

Abstract

We conducted test observations with the 40cm optical telescope at Tokyo Gakugei University to obtain data in the B, V, R_c , and Ic bands of the open cluster M29. We performed aperture photometry of 391 stars that are considered to belong to M29. The mechanical magnitudes of the stars were converted to the standard Jonson-Cousins system by comparing with their counterparts in the Pan-STARRS1 catalog. In order to see possible differences in the constituent stars, we attempted to divide the observed region into four regions according to the distance from the cluster center, and investigated the distributions of star color (B-V) and the color-magnitude diagram for each region. However, we found no significant differences in these diagrams among the regions.

Keywords: astronomy, telescope, stars, open cluster

Department of Astronomy and Earth Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要 旨

東京学芸大学40cm光学望遠鏡を用いた試験観測により, 散開星団M29のB, V, Rc, Icバンドのデータを取得した。M29を構成すると考えられる391個の星の開口測光を行った。そのうち, 等級の明るい15個の星についてPan-STARRS1カタログからカウンターパートを探し, それらと比較することで, 391個の星の標準等級を計算した。構成星のスペクトル型などの特徴が星団内での位置により異なるか否かを調べるために, 観測した領域を星団の中心からの距離別に4つの領域にわけ, それぞれの領域で色指数 (B-V) の分布と色-等級図を調査した。その結果, 構成星の性質に領域による差は見られなかった。

キーワード:天文学,天体望遠鏡,恒星,散開星団

^{*1} 大妻女子大学 社会情報学部 環境情報学専攻(102-0075 東京都千代田区三番町12)

^{*2} 東京学芸大学 広域自然科学講座 宇宙地球科学分野(184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1)

1. はじめに

星は分子雲から誕生する。分子雲は,水素を主成分 としたガスと炭素やケイ素等からなる塵が周囲よりも 高密度で分布する星間物質の塊である。銀河系の多く の星は,分子雲から集団で星団として誕生することが 知られている(例えば,Shimoikura et al. 2018)。数十 個から数百個の若い恒星が不規則に散らばってできる 星団を散開星団という。

M29は、はくちょう座の方向に位置する散開星団 である。Cygnus OB1アソシエーションと呼ばれる星 形成が活発な分子雲と若い星団の複合体に位置する。 M29周囲のDSS2サーベイによる可視光画像とWISE衛 星による遠赤外線画像を図1に示す。過去の研究で は、可視光分光観測によりB, V, R, Iバンド等の等 級が測定され、その年齢や距離、構成する星のスペク トル型の推定が行われてきた。それらの結果によれ ば、M29の年齢は0.3~5×10⁶年と推定されており、若 い星団であることが示唆されている(Joshi et al. 1983, Straižys et al. 2014)。一方で、Kharchenkoら (2005) に よれば約1.3×107年と報告されている。Wang and Hu (2000) らは, M29を構成する100個程度の星の分光観 測を行った。彼らによれば、M29を構成する恒星はO7 型からK3型であることが報告されている。Wang and Hu (2000) は、M29を構成するメンバーは、O型星 が2つ,B型星が全体の40%,A型星が全体の33%, 残りがF, G, K型星であると報告した。このうち, HD194378はM29の手前に、またHD229238はM29の後 ろに位置し、M29の構成メンバーではないとされてい る (Straižys et al. 2014)。Straižys (2014)の研究によると、 M29の地球からの距離は1540pcと推定されており、本 研究ではこの1540pcを採用する。

本研究では、東京学芸大学40cm光学望遠鏡(以後, 40cm鏡)を用いてM29の観測を行った。この望遠鏡は 2020年3月に東京学芸大学構内に設置され,2021年度 より試験的な運用が開始されたばかりである(川崎 2022, 土橋ほか 2022,富田ほか 2022,鈴木ほか 2022)。先述のように,M29については分光観測例が いくつかあることから、同星団は40cm鏡のフィルタ ーシステムの性能評価等を兼ねた試験観測に適してい る。

本論文の第2章では、観測について述べる。第3章 では、取得した星の機械等級をJohnson-Cousinsシステ ムの標準等級に変換する方法について述べる。第4章 では、標準等級に変換したデータを用いた結果を示し、 M29の特徴を調査する。本論文のまとめを、第5章に 示す。なお、本研究は、筆者の一人(浜田)が卒業研 究として取り組んだものである(浜田 2022)。

2. 観測

観測は、2021年8月4日に行った。40cm鏡はカセグ レン式であり、搭載されているCCDカメラの画角は 22.7 分角 × 17.0 分角、ピクセル分解能は 0.409 秒角 である。この望遠鏡にはJohnson-Cousinsシステムに準 拠したB, V, Rc, Icの4つのフィルターが装備されてい る。各フィルターは、観測可能な波長帯(バンド)を 持つ。本研究では、望遠鏡の視野の中心座標をM29の 赤経(J2000)20h23m50s、赤緯(J2000)38°30'00" に設定し、M29の4バンドのデータを取得した。

観測では, Bバンドは20秒露光を10枚, Vバンドは 10秒と20秒露光をあわせて15枚, Rcバンドは10秒露光 を5枚, Icバンドは20秒露光を5枚, それぞれ撮像した。 取得した画像は,バンドごとに一枚の画像に合成した。



図1 M29周囲の(a) DSSによる可視光画像,(b) WISE衛星による遠赤外線画像

また、フラット画像とダーク画像は、M29の撮影の前後に取得した。CCDカメラの感度が低いBバンドについては、240秒露光を20枚と1秒露光を10枚、Vバンドは30秒露光を20枚、Rcバンドは10秒露光を20枚、Icバンドは15秒露光を20枚撮像した。ダーク画像は、1秒露光を120枚と5秒露光を40枚撮像した。M29の撮像データと同様に各バンドで合成することで、4バンドごとのフラット画像とダーク画像を作成した。Icバンドのフラット画像とダーク画像を図2に示す。

CCDカメラは素子ごとに感度にばらつきがあり、 それらを補正する為にフラットフィールドを取得する 必要がある。本研究では、ドーム内の壁に貼った白い スクリーンから放射される一様な光を観測することで フラットフィールドを取得した。このような方法で取 得したフラットフィールドはドームフラットと呼ばれ る。また、CCDカメラの撮像では、熱的に発生する電 流(暗電流)によって、画素ごとにレベルが異なる電 荷信号が出力され、結果として出力画像にノイズが生 じる。CCDを冷却することである程度暗電流を抑え ることが出来るが、より正確に補正する為に、暗電流 の画像(ダークフレーム)を取得した。ダークフレー ムとは、CCDカメラに外部の光が入らないようにし た状態でノイズのみを撮影した画像である。通常の解 析方法と同様に、M29を撮影した画像からダークフレ ームを差し引くことでノイズを除去し、さらにフラッ トフィールドで割ることにより、画像データを較正し た。例として、得られたM29のIcバンドの画像を、図 3に示す。

解析には、SAOImage DS9¹とMakali'i²を用いた。 いずれも、研究観測で得られたFITS画像の解析を行 うことができるソフトウェアであり、無償で提供され ている。



図2 (a) Icバンドのフラット画像, (b) 暗電流画像



1 https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9

² https://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja

3. 取得データの標準等級への変換

この章では、取得した星のカウント値をJohnson-Cousinsシステムの標準等級に変換する作業について 述べる。

3.1 開口測光と大気圏外等級

まず,4バンドそれぞれの画像から星を検出した。 その結果,観測した領域で合計391個の星を見つける ことができた。次に,これらの星に対して,Makali'i を用いて開口測光を行い,個々の星のカウント値を測 定した。

星のカウント値をDとすると、その星の機械等級m は、次のポグソン(Norman Pogson, 1829-1891)の式 より求めることができる。

$$m = -2.5\log_{10} D + C \tag{1}$$

この式より求めた各バンドでの機械等級をBm, Vm, Rm, Imとする。右辺のCは定数で、本研究では C = 25とした。

実際に得られた機械等級mと,大気による減光を受けていない場合の等級(大気圏外等級)m₀には,次の関係がある。

$$m = m_0 + kF(Z) \tag{2}$$

kは減光係数と呼ばれ、観測時の大気の状態やバン ドごとに異なる。ここでは、バンド毎に k_B 、 k_v 、 k_R 、 k_I と表す。各バンドの機械等級と大気圏外等級 B_0 、 V_0 、 R_0 、 I_0 の間には、以下のような関係がある。

$$B_0 = Bm - k_B F(Z) \tag{3}$$

$$V_0 = Vm - k_V F(Z) \tag{4}$$

$$R_0 = Rm - k_R F(Z) \tag{5}$$

$$I_0 = Im - k_I F(Z) \tag{6}$$

ここで,Zは星の天頂距離であり,F(Z)は大気の空気 量を表す(例えば,吉田ほか2019)。

2 使用フィルターの波長依存性の確認と標準シ ステムへの変換

次に、40cm鏡に付属されているフィルターと Johnson-Cousinsシステムによるフィルターとの波長依 存性の違いを調べた。そのために、 $B_0 \ge V_0$ バンドのデ ータを用いて, 各バンドの標準等級との関係を調べた。 取得した*B*, *V*, *Rc*バンドによる三色合成図を図4 に示す。この図より, 見かけの明るい星を15個選び, Pan-STARRS1カタログ³よりカウンターパートを探し た。選んだ星については図中に赤丸で示した。Pan-STARRS1カタログには, ハワイのハレアカラ天文台 に設置の口径1.8m望遠鏡に装備された5つの広帯域 フィルター (*g*, *r*, *i*, *z*, *y*) による観測データがまと められている。図5に, *g*, *r*, *i*と本研究で取り扱う Johnson-Cousinsシステムの*B*, *V*, *R*, *I*バンドの関係を 示す (Kostov and Bonev 2018)。

本研究では選んだ15個の星について、Pan-STARRS1 カタログからそれぞれ1"内に一致する星を探した。 次に、Pan-STARRS1カタログにまとめられた各星の g, r, iバンドの測光平均値を取得し、以下の式より、 Johnson-Cousinsシステムの標準等級 B_p , V_p , R_p , I_p に 変換した(Tonry et al. 2012, 上原ほか 2019)。

$$B_p = g + 0.213 + 0.587 (g - r) \tag{7}$$

$$V_p = r + 0.006 + 0.474 (g - r) \tag{8}$$

$$R_{p} = r - 0.138 - 0.131 \left(g - r\right) \tag{9}$$

$$I_p = i - 0.367 - 0.149 (g - r) \tag{10}$$

40cm鏡のシステムの大気圏外等級 (B_0 , V_0 , R_0 , I_0) は, それぞれ以下のシステム変換式に従うものとする。

$$B_p = B_0 + \alpha_B \left(B_0 - V_0 \right) + \beta_B \tag{11}$$

$$V_p = V_0 + \alpha_V (B_0 - V_0) + \beta_V$$
(12)

$$R_{p} = R_{0} + \alpha_{R} \left(R_{0} - I_{0} \right) + \beta_{R} \tag{13}$$

$$I_{p} = I_{0} + \alpha_{I} \left(R_{0} - I_{0} \right) + \beta_{I}$$
(14)

ここで、 α_B 、 α_V 、 α_R 、 α_I 及び β_B 、 β_V 、 β_R 、 β_I はシステム 変換のための係数である。式(11)~(14)に式(3)~(6)を代入 すると、以下の式を得る。

$$B_{p} - B_{m} = \alpha_{B} (B_{m} - V_{m}) + \alpha_{B} (k_{B} - k_{V}) F(Z) + \beta_{B}$$
(15)
$$V_{p} - V_{m} = \alpha_{V} (B_{m} - V_{m}) + \alpha_{V} (k_{B} - k_{V}) F(Z) + \beta_{V}$$
(16)

$$R_p - R_m = \alpha_R \left(R_m - I_m \right) + \alpha_R \left(k_R - k_I \right) F(Z) + \beta_R \tag{17}$$

$$I_p - I_m = \alpha_I \left(R_m - I_m \right) + \alpha_I (k_R - k_I) F(Z) + \beta_I \tag{18}$$

例として、式(15)の関係を、図6に示す。図からわか る通り、 $B_p - B_m
ightarrow B_m - V_m$ には、はっきりした相関関係 は見て取れない。 $V_p - V_m
m yB_m - V_m$ 等の他のバンドにつ

³ Pan-STARRS Catalog Search, https://catalogs.mast.stsci.edu/panstarrs/



図4 M29の*B*, *V*, *Rc*バンドによる三色合成図。赤丸で囲んだ星はPan-STARRS1カタログでカウンターパートを探した15 個の星



図5 Johnson-CousinsシステムBVRIとPan-STARRS1 によるg, r, iフィルターの透過率。Kostov and Bonev (2018)のFig.1より

いても同様である。よって、ここでは機械等級での 星の色に関する係数(*a*^{*b*} *a*^{*i*})を0と仮定する。また、 M29の各バンドでの撮像時間は合計で数分程度であっ たので、その間のZはほとんど変わらないものとして、 式(15)~(18)の右辺の第2項と第3項を定数とみなすこと にする。

以上のように仮定し,機械等級から標準等級への変 換式を

$$B_p = B_m + C_B \tag{19}$$

$$V_p = V_m + C_V \tag{20}$$

$$R_p = R_m + C_R \tag{21}$$

$$I_p = I_m + C_I \tag{22}$$



図6 $B_m - V_m \ge B_p - B_m$ の関係

とすることにした。ここで、 C_B 、 C_V 、 C_R 、 C_I は定数である。本研究では、開口測光を行った319個の星のデータをもとに、式(19)~(22)の C_B 、 C_V 、 C_R 、 C_I を求めた。

4. 結果及び考察

標準等級に変換した B_p , V_p , R_p , I_p データを用いて、 ヘルツシュプルング・ラッセル図(以後, HR図)を 作成した。縦軸に B_p , V_p , 横軸に色指数 $B_p - V_p \geq V_p - I_p$ を用いたHR図をそれぞれ図7に示す。色指数とは、 異なるバンドで測定された等級の差である。図7(c)に 示した $B_p - V_p \geq V_p$ によるHR図をSchmidtke and Hunter (2020)の結果と比較し、図中に示したHD229221の等 級が同程度であること、また、HR図の分布について も彼らと同様の結果が得られたことを確認した。

M29の特徴を調べるため、得られた色指数 $B_p - V_p \varepsilon$ 1.5 magごとに分け、それぞれが天球上でどのように 分布しているのかを調べた。その結果を図8に示す。 色指数の大きい赤色で示した星は、図の外側に分布し ているように見えるが有意な数ではない。色指数が-1 から2mag(黄色・緑色)の星は,領域全体に散らば っている。色指数の小さい青色で示した星は,数が少 ないため,傾向は明らかではない。以上の結果からは 色指数の分布に明らかな偏りは見られない。

次に,以下の式により標準等級V_pを絶対等級M_vに変換した。

 $V_p - M_v = 5\log_{10}d - 5$ (23) ここで、dはM29の距離(pc)である。本研究では 1540pc(Straižys et al. 2014)を用いた。



図7 HR図。(a) B_{ρ} 対 $B_{\rho}-V_{\rho}$, (b) V_{ρ} 対 $V_{\rho}-I_{\rho}$, (c) V_{ρ} 対 $B_{\rho}-V_{\rho}$



 R.A.(J2000)

 図8 色指数B_ρ-V_ρを1.5 magごとに分けた391個の星の天球上での分布図



図9 解析のために分けた4つの領域①~④。各領域は、画像の中心(緑の線の交点)から異なる距離に円環状に設定した

絶対等級を用いたHR図を色-等級図(Color-Magnitude diagram, 以後, CM図) という。M29を構 成する各恒星が領域によってCM図での分布に差があ るか調査した。このために、図9に示すように、観測 した領域の中心を中心からの距離ごとに4つの領域に 分けた。Wang and Hu (2000) らによれば, M29を構成 する恒星のスペクトル型は、O7型からK3型まで様々 であり、図9の中心付近にはO・B型星が集中してい る。領域ごとに色を分けてCM図を作成した結果を, 図10に示す。図からは、領域によるCM図の分布に大 きな差は見られないことが分かった。また、この図に 主系列(国立天文台 2021,西浦・柏木 2007)をプ ロットしてM29の転向点を探した。転向点は主系列を 離れる点であり、CM図上の主系列からの折れ曲がり として見られる。図10からは、転向点をはっきり同定 することはできなかった。

5. まとめ

- (1)東京学芸大学の40cm鏡を用いて散開星団M29の 試験観測を行った。M29のB, V, Rc, Icバンドのデ ータを取得した。
- (2)取得したデータより391個の星の開口測光を行った。見かけ上明るい星を15個選び,それらに対



図10 CM図。図9で分けた領域ごとにプロットの色を変 えてある。灰色の線は主系列星の並びを示す(国立 天文台 2021, 西浦・柏木 2007)

応する星をPan-STARRS1カタログから探した。Pan-STARRS1のg, r, iバンドのデータを用いて15個の 星の等級をJohnson-Cousinsシステムの標準等級に 変換し, 40cm鏡のデータと比較した。その結果, 40cm鏡のB, V, Rc, Icバンドのフィルターの波長 依存性が、Johnson-Cousinsシステムと等価であるこ とを確認した。その後、開口測光した全ての星を標 準等級に変換した。

(3)標準等級に変換したデータを用いて,M29のHR 図を作成した。M29の中心からの距離の違いによる 構成星の違いを調べるために,星団の中心からの距 離別に観測領域を4つに分け,領域ごとに色―等級 図を作成した。その結果,星団の構成星の種類に領 域間で大きな差は見られなかった。

謝辞

本研究は、JSPS科研費22K02966及び栢森財団研究 助成金K33研XXVI第584・591号の助成を受けたもの です。40cm鏡の開発・維持には、放送大学教育振興 会助成金(2021年度)、カシオ科学振興財団研究助成 金(助39-52)、東京学芸大学連合大学院広域科学教科 教育学研究経費(令和3年度)の資金的な援助を受け ました。ここに感謝致します。

引用文献

- Joshi, U. C., Sanwal, B. B., and Sagar, R. (1983), "Photometry of the open cluster NGC 6913", Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 35, pp.405-412.
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S., Schilbach, E., and Scholz, R.-D. (2005), "Astrophysical parameters of Galactic open clusters", Astronomy & Astrophysics, Vol. 438, pp.1163-1173.
- Kostov, A., and Bonev, T. (2018), "Transformation of Pan-STARRS1 gri to Stetson BVRI magnitudes. Photometry of small bodies observations", Bulgarian Astronomical Journal, Vol. 28, p.3.
- Schmidtke, P., and Hunter, T. (2020), "A Photometric H a Survey of the Open Cluster M29", Research Notes of the AAS, Vol.4, id.193.
- Shimoikura, T., Dobashi, K., Nakamura, F., Matsumoto, T., and Hirota, T. (2018), "A Statistical Study of Massive Cluster-

forming Clumps", Astrophysical Journal, Vol.855, id.45 (28pp).

- Straižys, V., Milašius, K., Boyle, R. P., Vrba, F. J., Munari, U., Walborn, N. R., Černis, K., Kazlauskas, A., Zdanavičius, K., Janusz R. (2014), "THE ENIGMA OF THE OPEN CLUSTER M29 (NGC 6913) SOLVED,1.", Astronomical Journal, Vol.148, id.89 (9pp).
- Tonry, J. L., Stubbs, C. W., Lykke, K. R., Doherty, P., Shivvers, I. S., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Hodapp, K. W., Kaiser, N.et al. (2012), "The Pan-STARRS1 Photometric System", Astrophysical Journal, Vol.750, id.99 (14pp).
- Wang, J.-J. and Hu, J.-Y. (2000), "Spectral classification and reddening in the young open cluster NGC 6913", Astronomy & Astrophysics, Vol.356, pp.118–126.
- 上原隼, 土橋 一仁, 吉田悠人, 西浦慎悟, 下井倉ともみ, 直 井隆浩 (2019),「木曽観測所 2kCCD カメラのシステム変 換」,東京学芸大学紀要, 自然科学系, Vol.71, pp.57-64.
- 川崎優太 (2021),「東京学芸大学新40cm鏡の制御システムの 開発」,東京学芸大学 修士論文, pp.1-27.
- 鈴木海哉,富田飛翔,西浦慎悟,土橋一仁(2022),「東京学芸 大学新天体観測システムの性能評価一広帯域フィルター と冷却CCDカメラー」,東京学芸大学紀要,自然科学系, Vol.74, pp.67-75.
- 国立天文台 (2021), 理科年表, 丸善出版, p.124.
- 富田飛翔, 土橋一仁, 川崎優太, 西浦慎悟 (2022), 「東京学芸 大学新40cm望遠鏡の観測システムの開発」, 東京学芸大学 紀要, 自然科学系, Vol.74, pp.85-93.
- 土橋一仁,西浦慎悟,川崎優太,富田飛翔(2022),「東京学芸 大学新40cm望遠鏡の特徴と基本性能」,東京学芸大学紀要, 自然科学系, Vol.74, pp.77-84.
- 西浦慎悟,柏木雄太(2007),「天文ソフトの活用(3)ヘルツ シュプルング・ラッセル図の描き方 — マカリィとOpen Office Orgを使って」,天文教育, Vol.22, pp.35-42.
- 浜田麻比呂 (2022),「散開星団M29の可視光観測による研究」, 大妻女子大学社会情報学部 卒業論文, pp.1-23.
- 吉田悠人, 土橋一仁, 上原隼, 西浦慎悟, 遠藤修弘, 平原淳一, 下井倉ともみ, 直井隆浩 (2019),「広視野カメラKWFC を搭載した木曽105cmシュミット望遠鏡のシステム変換」, 東京学芸大学紀要, 自然科学系, Vol.71, pp.49-55.