

氏 名 赵 正实(ZHAO ZHENGSHI)

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1543 号

学位授与の日付 平成24年9月28日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Origins of Blue Straggler Stars in Open Clusters, Globular
Clusters and Dwarf Spheroidal Galaxies

論文審査委員 主 査 准教授 竹田 洋一
准教授 梶野 敏貴
准教授 浮田 信治
教授 齋尾 英行 東北大学
教授 比田井 昌英 東海大学

Blue straggler stars (BSSs) lie above the current main sequence turn-off on the color-magnitude diagram of star cluster. Their positions in the color-magnitude diagram imply that they are more massive than current main sequence turn-off stars in the same cluster. Thus, their presence of the main sequence was a challenge for standard stellar evolution theory, as normal stars with the same mass have already evolved into the white dwarfs. To explain the extraordinary long lifespan on the main sequence, various mechanisms have been suggested, all involving in additional hydrogen material input to normal stars. Two of the most popular mechanisms are merger by direct collisions in single stars and coalescence or mass transfer in close binary systems. As the products of dynamical process of the host cluster and the stellar evolution itself, studying BSSs can shed a light on the process of merger and/or mass transfer, and be a tracer of dynamical evolution of the host cluster.

The first discovery for of BSSs in globular cluster M3 dates back to six decades ago. Since then, many observational findings suggest that BSSs are present in globular clusters, open clusters, as well as dwarf spheroidal galaxies (dSphs), and even in the fields and the bulge of the Milky Way and imply that different formation mechanisms may operate in different dynamical environments. Though we are still faced with problems to understand these objects clearly and completely. The aim of this thesis is to derive a comprehensive interpretation for origins of BSS by investigating the BSSs properties in different star systems, such as open clusters, globular clusters and dSphs based on observational data of the highest quality up to the present day.

We have collected homogeneous deep photometric data for 9 dSphs taken from Subaru / Suprime-Cam. The sample includes 3 classical dSphs. Draco, Ursa Major and Sextans, and 6 ultra faint dwarf galaxies. For these classical dSphs, we have analyzed BSSs' radial distribution and luminosity functions. BSSs radial distribution shows a lack of a strong central peak and luminosity function is independence of radius. These results imply that in these dSphs, the blue plume stars are most likely real BSSs formed mainly by mass transfer in primordial binaries. The frequency of BSSs in the 9 galaxies does not correlate with galaxy parameters, such as half light radius r_h , metallicity $[Fe/H]$, central surface brightness $\mu_{V,C}$, concentration parameter c , central density ρ_c , velocity dispersion σ_V , half mass relaxation time $\log t_{rh}$, and collisional rate Γ_* , as well as the integrated absolute magnitude, M_V . This result suggests that evolution of primordial binaries, which would form BSSs, was not affected significantly by dynamical interaction in such sparse environments. Thus, the observed BSS frequency is almost same in these galaxies under a simple hypothesis that the primordial binary fraction was the same in all galaxies.

We have also collected homogeneous deep photometric data of 51 globular clusters obtained by HST / ACS. 8 GCs in our samples show bimodal BSSs frequency distribution. Among them, the bimodal distribution is reported for the first time in NGC 5286, NGC 5986, NGC6362, NGC 6535, NGC 6541 and NGC 7099, in total six globular clusters. It has raised the numbers of this kind of globular cluster by twice the number known before. Moreover, the significant anti-correlation between BSS frequency and M_V is confirmed with our sample. BSS frequency is also significantly

anti-correlated to central density and central velocity dispersion and collision rate. Furthermore, luminosity functions of BSSs in bright ($M_V < -8.8$) and faint ($M_V > -8.8$) clusters do not show significant differences. One possible interpretation for all these properties is that, the BSSs formation from binaries is the dominant mechanism in globular cluster. However, the effect of collisions on BSS formation is still considerable because collisions destroy primordial binaries and/or accelerate evolution of binary systems.

Finally, we have observed 30 BSSs and 9 main sequence turn-off candidates in three old Galactic open clusters, NGC 2682, NGC 2112 and NGC 6819. Among them, radial velocities (V_r) of all target stars in NGC 2682 and NGC 6819, and 6 BSSs and all main sequence turn-off stars in NGC 2112 are consistent with mean V_r of member stars in the clusters. Rotational velocity of BSSs spans a wide range from few km s^{-1} to hundreds km s^{-1} , while those of main sequence turn-off stars vary in small range from few km s^{-1} , to $\sim 25 \text{ km s}^{-1}$. The high rotational velocity of current BSS is consistent with predictions both from mass transfer and collision BSS formation mechanisms. Some of main sequence turn-off stars and a few of BSSs show normal Li abundances. For the other BSSs, only the upper limit of Li abundance is estimated. Interestingly, BS 1371 in NGC 2112 and BS 10010 in NGC 6819, show very high Li abundances, $A(\text{Li}) \sim 3.94 \text{ dex}$ and $A(\text{Li}) \sim 3.52 \text{ dex}$, respectively. Two BSSs show depletion in oxygen abundance, while the most of BSSs show similar oxygen abundance to main sequence turn-off stars. Some BSSs show depletion in carbon abundance, while the other BSSs show normal compared to main sequence turn-off stars. These abundance anomalies in light elements found in some BSSs suggest that mass transfer from such highly evolved stars is the origin of these BSSs. On the other hand, the progenitor of other BSSs with normal carbon and oxygen abundances and low lithium abundances might be normal red giant stars.

本研究の対象は、恒星系における青色彷徨星(Blue Straggler Stars)とよばれる古くからその起源が謎とされてきた一群の星である。大部分の星はほぼ同時期に生まれている星団や矮小銀河などの恒星系の色一等級図においては、主系列はある点(転向点)より折れ曲がっていて、その点より青い主系列星は存在しない。つまり質量のより大きい(より青い)星ほど主系列で過ごす時間(星の寿命)はより短いので、その星団の年齢よりも寿命の短い青い星はすでに進化して主系列から離れてしまっているからであり、逆にこのことを利用して色一等級図上で主系列が途切れる転向点の位置からその星団の年齢が推定できる。しかしこの一般的傾向にもかかわらず、一群の星は転向点からより青い方向にもあたかもゴースト主系列のように存在しており、これが青色彷徨星である。これは単純な星団の星の進化では説明できないので、おそらく何らかの過程を経て後天的に物質を獲得して質量を増加した星(質量が増えたことにより色一等級図で青い主系列の上に新たに位置が移動した)であろうと考えられているが、この質量増加の過程が具体的に何であるかが未だによくわかっていない。理論的には大きく分けて「星同士の衝突合体説」と「連星系において先に進化して膨らんだ星から流れこんだ物質の降着説」の二つの説が提唱されている。本研究はこの両者のどちらに軍配が上がるかの決着を観測的な立場からめざしたものであり、(1) 9個の矮小銀河、(2) 51個の球状星団、(3) 3つの散開星団、の三種類の恒星系の青色彷徨星について、それぞれすばる望遠鏡主焦点カメラによる測光データ、ハッブル宇宙望遠鏡による測光データ、すばる望遠鏡高分散分光器による分光データを用いて詳細かつ広範な解析を行った。矮小銀河や球状星団の測光データでは青色彷徨星の比率や中心から周縁にかけての複数の位置でのその変化を定量的に計測し、それを基に理論的な計算とも比較して統計的な議論を行った。また散開星団については30個の青色彷徨星と9つの転向点星に対して個々の星のスペクトルの詳細解析を行い、自転速度やLi, C, O, Feなど鍵となる元素の化学組成を直接決定することに成功している。そしてこれらの観測結果から「これら恒星系においては『連星系における物質移動・降着による質量獲得』が青色彷徨星を形成する上で主たる物理過程であろう」との結論に至った。

本研究は世界的にトップクラスの高品質の貴重な観測データに基づいている。測光に用いたのは既存の公開データであるが、分光データは本人が自分でプロポーザルを書いてすばる望遠鏡の時間を獲得して観測して得たオリジナリティの高いデータである。また特に組成解析においては個々の星の大気パラメータはスペクトル自身を用いて鉄のラインから分光学的に決定しており、色一等級図を用いる安易な方法に比べて信頼度が高く、この分野における他グループの仕事とは一線を画しているので評価できる。今回の研究で青色彷徨星の起源の論争に最終決着がついたとまでは言えないが、本論文は矮小銀河・球状星団の測光解析においては個々の色一等級図と測定した諸量、散開星団の分光解析においては多数のラインの等価幅や得られた組成、等の大量の基本データをすべて誠実に提示していて、今後この分野に携わる研究者にとって重要なレファレンスになることは疑いない。よって審査委員全員が博士論文として合格と判断した。