

Stryker - Blue Stragglers - 1993PASP

PASP, 105, 1081-1100 に掲載された L. L. Stryker の “Blue Stragglers” についてのレビュー論文から W UMa 型のような接触連星系が合体してブルー・ストラグラーになったのではないかという説についての解説を載せておく。2.2.2 節で、本文中 2 ページ足らずの分量である。

ブルー・ストラグラーの中で FK Com 型とされている GK 型変光星では自転速度が 100 km/s を越えており (通常は数 km/s)、単独星の進化を経て到達したとは考えにくく、W UMa 型連星系 (典型的な自転速度が 150 km/s ほど) が合体したのではないかという説がある。

2.2.2 Have BSs Increased Their Lifetimes Through Coalescence (merger) with a Former Contact-Binary Companion? ("Binary Merger")

多分、少なくとも古い星団でのことである。合体星の定義は、星が共通のエンベロープを共有するか、完全に融合した状態のことである。合体星の存在は推測することしかできないが、それらに期待される特性が分れば、一部の BS およびおそらく特異ケフェイド (AC) の説明になるだろう。いくつかの接触連星が知られており、合体はその段階に続いて起ると予想される。1~3 日の範囲の周期を持つ近接連星が存在するかどうかを確認することが良いテストであり、それが次世代 BS になるものと思われる。

連星の合体は、2 星が徐々にらせん状になって行って結合した連星系である (Mateo et al. 1990)。一方、衝突合体 (2.2.3 項を参照) は、直接的な星の衝突によって生成された物体から形成される (Hills and Day 1976; Leonard and co-workers)。

連星の合体は相当複雑だ。完全に接触した W Ursae Majoris (W UMa) 星は、元の伴星から主星への質量移動によって進化する。伴星は完全に吸収されるか、「深い接触」が起る可能性があり、2 つ以上の星ならすぐに合体する。浅い接触で起る現象を急激な合体が模倣する場合、最終的な合体したもののエンベロープ全体で、伴星からの材料が混合することが予想される。または、2 つのコアが一緒に螺旋状になっている場合 (大規模なエンベロープ内でのダブルコアの進化のように)、伴星からの物質が最終的に合体した天体のコアに残る可能性がある。いずれにせよ、主星の物質は残余のコアに残る。そのため、連星合体ではヘリウムが少なくなる。

近接連星が合体した場合、自転速度が速くなることが予想される。一般に、星団に属していない BS の自転速度は正常であることがわかっている (Carney and Peterson 1981) が、M67 中の星の自転速度は予想より低い (Peterson et al. 1984)。Eggen and Iben (1989、以下 EI89 と呼ぶ) は合体によって

形成された BS を減速するために磁気ブレーキを考えたが、老齢の散開星団中の BS のスペクトル型は F5 より若い。磁気ブレーキが重要になり始めるのはスペクトル型が F5 とその後のみである (しかし、磁気ブレーキは実際にはあまりよく理解されていない)。さらに、古い星団には明るい巨星が欠けている。合体した BS が進化した天体はどこにあるか? Fusi Pecci 等 (1992) は球状星団中の赤い方の水平分枝は BS の末裔かもしれないと言っている。

ゆっくりと合併することで寿命が長くなることだろう。ここでは、大きな主星は、さしたる摂動なしに、はるかに小さな伴星を吸収し、それにより、今見られるような主系列星の重力を持つことになる。古い合体星は BS に単純に似ているかもしれないが、それほどその質量範囲の進化時間が過ぎ去ってしまうほど年老いることは不可能だ。

W UMa 連星のように、接触した結果として合体する場合、そのようなシステムとそお前の接触系の一部が星団中に存在していて、観測された BS の数を生成するのに十分な供給がなされるのかどうかを観察できるはずだ。現在知られている W UMa 星については 3.1.4 および 3.1.5 を参照して貰いたい。

一部の BS は連星であるという信じるに足る観測的証拠がある。中間年齢および古い散開星団および球状星団でよく研究されている BS の中で、これまでに観測された近接連星系の数は、合併仮説と合致する可能性がある。NGC 5466 中の近接連星の数と BS の総数の比較は、全ての非食系の BS は近接連星系の星が合体した結果として形成されたという主張と矛盾しない。分析の不確実性 (Mateo 他 1990 年) は十分に大きいため、他のメカニズムが BS を生成する可能性を実際に除外することはできないが。

W UMa 連星の各星が直接接触していることは疑いなく、そのため継続的に相互作用し、質量を交換している。単純な議論によれば、そのような連星は最終的に単一の星に融合す

るはずである (Webbink 1976a, b; Webbink 1985b; Tutukov and Yungelson 1987; Mateo et al. 1990)。NGC 5466 中の連星は、BS と合体した接触連星間に密接な関係がある可能性を示唆している。

マテオ等 (1990) は、密なシステムにあるそのような連星が接触に達するまでの生存時間はどれくらいかと疑問を呈している。NGC 5466 のコアの密度は約 11 Mo pc^{-3} だ。彼らは、 $P = 5 \text{ d}$ の連星で、各星が 1 Mo の場合、どちらかが両星間距離の 10 倍内を通過するような「衝突」によって破壊されるとおおらかに想定している。(片方が強く固まり、合体化を加速するような連星と連星の衝突を無視する。) 連星と単独星の衝突の間隔は 10^{13} 年を超えるため、初期の公転周期が 5 日までの連星は容易に生き残ることができる。星 NH19、30、31 は、主系列での角運動量損失によって、または一方の星が主系列から進化して離れた時に合体する。

以下は、恒星合体の果てとしての BS に関する Mateo et al. (1990) の議論から引用した。

τ (分離) = 最初に分離している連星が相互に接触するまでの時間。

τ (合体) = 接触連星が単一の星に合体する時間。

τ (bs) = 主系列から進化して離れようとしている BS の見かけの年齢 (上限)。
次のような仮定をする。

(a) 個々の星は、 $M < 3 \text{ Mo}$ の単一星で観測されたのと同じ割合で自転角運動量を失う。

$$v(\text{rot}) \propto \tau^{-1/2}, \quad \text{ここで、} \tau = \text{星の年齢};$$

(b) 自転と軌道の周期は、潮汐作用を介して同期する。

(c) 連星は $\sim 1 \text{ Mo}$ 星で構成され、初期周期は $\sim 4.5 \text{ d}$ で、 18 Gyr で接触する (周期が短かければ、接触はより早くなる)。

(d) すべての BS は合体した連星である。
NGC 5466 では、47 個の BS の場合、3 星は接触または疑似接触連星であるため、

$$\frac{\tau(\text{merge})}{\tau(\text{bs})} \sim \frac{N(\text{merge})}{N(\text{bs})} \\ = \frac{\#\text{contact systems are/will be BSs}}{\#\text{already merged (i.e., BSs)}} \\ \sim 1.3 \times 3/47 \sim 0.084 \pm 0.05,$$

ここで 1.3 は、好ましくない傾斜角のために見逃されたシステムを修正する因子である。傾き、検出確率などは不明であるため、この結果は実際の頻度の下限である。

$$\tau(\text{merge}) \sim 5 \times 10^8 \text{ yr},$$

$$\text{from estimates of } 5 \times 10^7 \text{ to } 5 \times 10^9 \text{ yr},$$

$$\tau(\text{bs}) < 7 \times 10^9 \text{ yr},$$

from isochrones of VandenBerg and Bell (1985).

これは、BS が同じ総質量 (ただし、両方の推定値は非常に不確かであることに注意) で生まれた単独の星と同じように進化するわけではないことを示している。

$$\frac{\tau(\text{merge})}{\tau(\text{bs})} > 0.07;$$

実際の範囲は $0.0 \sim 0.2$ あたりだ。これは、NGC 5466 で観測された数と一致している。

想定される初期最小周期が観測されているように約 3 d で、標準的な角運動量損失メカニズムが正しいと仮定すれば、分離型連星が接触に至るまでの最小時間は約 $(1-5) \times 10^9$ 年であるため、合体機構は比較的古い星団でのみと期待される。したがって、 $M_{\text{to}} > 2-3 \text{ Mo}$ の星団内の BS の存在は、若い散開星団内の大質量星から角運動量を除去し、時間スケールを短縮する効率的なメカニズムが見つからない限り、合併モデルでは説明できない。

マテオ等 (1990) は接触連星の合体が BS を生成する唯一のメカニズムを提供するとは結論づけているわけではないが、中間年齢および古い散開星団と球状星団で観測された連星 BS の割合は合体仮説と矛盾しない。

FK Comae 型星をよく見ると、連星合体の直接的な証拠が見つかるかもしれない。FK Com は変光している GK 型巨星で、自転が非常に速 ($50-110 \text{ km s}^{-1}$)。それらは彩層活動を示しているが、現在、二重性の兆候は見られない。FK Com 型星は合体した WUMa システムの残骸と考える人もいる。FK Com のような星が NGC 188 で発見されているが、NGC 188 は、多数の WUMa 型星と BS が入っている星団である。自転速度が速いため、FK Com は単独の主系列星ではなく、接触連星からというよりも、共通したエンベロープを持つ系から生まれた可能性もあると考えられている (Campbell 1986)。接触連星合体理論は、古い星系で BS を生成するための有望なメカニズムとして生き残っている。