

紫外線輻射場中での球状星団の形成

筑波大学 宇宙物理理論研究室 博士前期課程1年 安部牧人

1 Introduction

球状星団 (GCs) とは、数 pc~数 10pc の領域に、 $\sim 10^6$ 個の星が密集する stellar dominant でコンパクトな恒星系である。星団内の金属量はほぼ同一であり、これは球状星団内の星がほぼ同時期に形成されたことを示唆している。更に、以下の図に示すように特徴的な速度分散 σ と光度 L の関係がある。

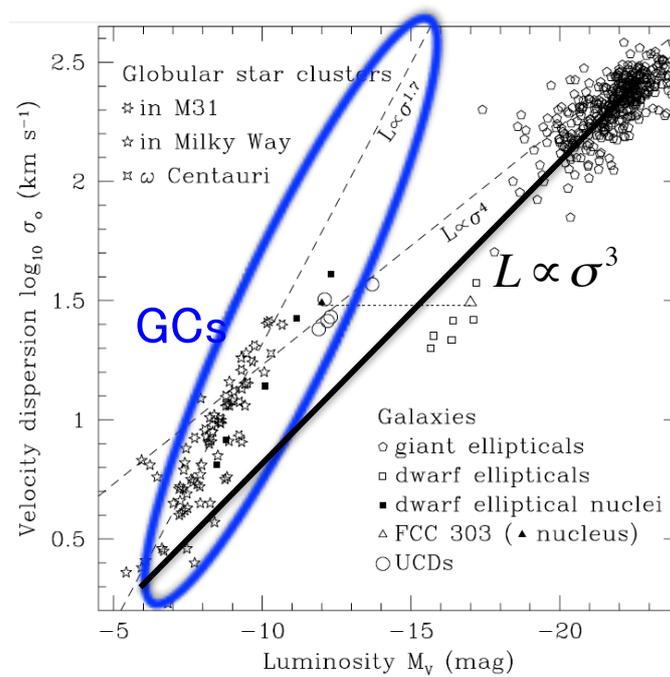


図 1: 速度分散 σ と光度 L の関係 (Drinkwater et al.2003)

星団が力学平衡に達した場合、星のダイナミクスは $\sigma \propto \sqrt{GM/r_h}$ に従い (r_h は半質量半径、 M は星団の質量)、 $M \propto r_h^3$ 、 $L \propto M$ を仮定することにより $\sigma \propto L^{1/3}$ が予想されるが、観測事実によれば $\sigma \propto L^{1/2}$ が得られている。このことから球状星団が単純な重力崩壊によって形成されたわけではないと考えられ、これまで様々な球状星団形成のシナリオが提案されてきたが、 $\sigma \propto L^{1/2}$ の関係は説明されていない。そこで本講演では、この問題を解決するために Hasegawa et al.2009 によって提唱された、紫外線輻射場中での球状星団モデルを紹介した。

2 Simulation

最近の観測から、多くの球状星団は宇宙再電離期後に形成されたと考えられ、従って星団形成では紫外線輻射の影響を受けると予想される。シミュレーションでは PopIII を source とした等方紫外線輻射場を仮定し、紫外線輻射場中での星形成を調査するため、一次元球対称の scheme で baryon の輻射流体力学、非平衡化学反応、darkmatter のダイナミクスを扱う。また星形成後のダイナミクスについても調査する。

3 Result of simulation

3.1 result of simulation

シミュレーションの結果、紫外線輻射場中での星団形成は (i)prompt star formation、(ii)delayed star formation、(iii)supersonic infall という 3 つのプロセスに分かれることがわかった。prompt star formation は比較的紫外線が弱い場合に起こり、紫外線に対して自己遮蔽する半径より内側で星を形成する (自己遮蔽半径より外側の gas は蒸発する)。delayed star formation は gas cloud の質量が大きい場合に起こり、gas は紫外線により電離されるが、大きな質量のため重力崩壊することができ、密度の増加により自己遮蔽して星を形成する。

supersonic infall は今回示された、新しい紫外線輻射場中での星団形成プロセスである。以下にその概念図、シミュレーション結果を示す。

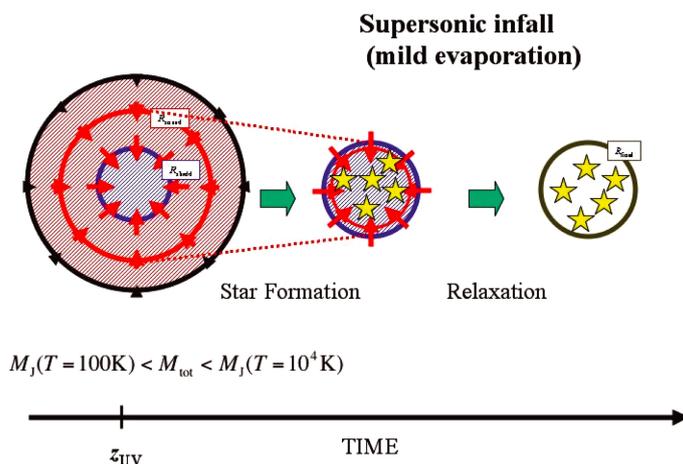


図 2: supersonic infall の概念図

図 2 は gas cloud の概念図で、赤い線は落下速度が超音速となる半径、青い線は紫外線に対して自己遮蔽する半径となっている。supersonic infall は gas cloud の質量が $10^5 M_\odot < M_{tot} < 10^8 M_\odot$ の場合に起こる。紫外線輻射によって gas cloud の表面は電離され蒸発するが、一方で cloud が放射冷却すると、cloud は超音速で収縮する事が可能となる。これ

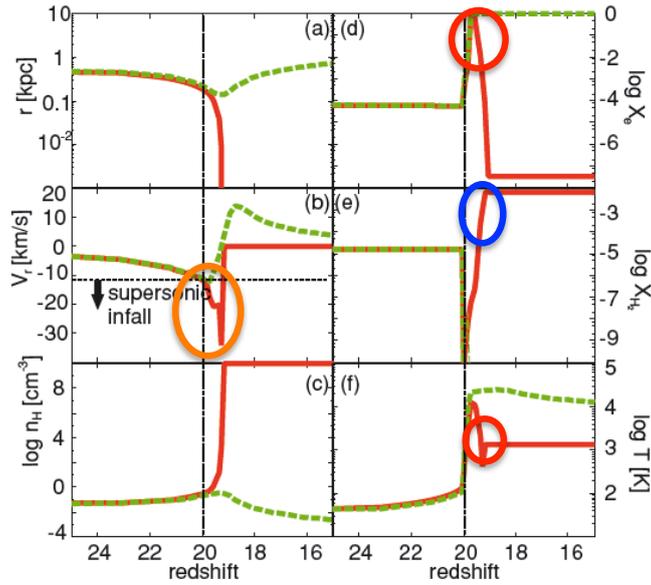


図 3: シミュレーションの結果。それぞれ超音速点付近の gas cloud の、赤方偏移に対する (a) 半径、(b) 落下速度、(c) 水素数密度、(d) 電子 fraction、(e) 水素分子 fraction、(f) 温度

により、輻射によって cloud が加熱されても蒸発せずに収縮を続け、やがて密度の増加により紫外線から自己遮蔽して星形成に至る。

supersonic infall の星形成の期間は 10Myr 以下であり、球状星団の single population と一致する。

3.2 stellar dynamics

supersonic infall により形成された星のダイナミクスは以下ようになった。

図 4 において、上段が prompt star formation、中段が delayed star formation、下段が supersonic infall であり、細い線は darkmatter、太い線が stellar component である。

supersonic infall では電離された gas がコンパクトな領域まで収縮して星形成に至るため、この間大きなエネルギー散逸が起り、密な星団となる。3 タイプの星形成プロセスのうち、唯一 supersonic infall が stellar-dominant な compact cluster を作り、球状星団の特徴を再現する結果となった。

3.3 Comparison with observation

今回のシミュレーションから得られた V-band 絶対光度と質量光度比の関係について、観測結果と比較している。

図のように、supersonic infall は球状星団の観測結果とよく一致している。また、prompt star formation は dSphs と、delayed star formation は UCDs とほぼ一致する。

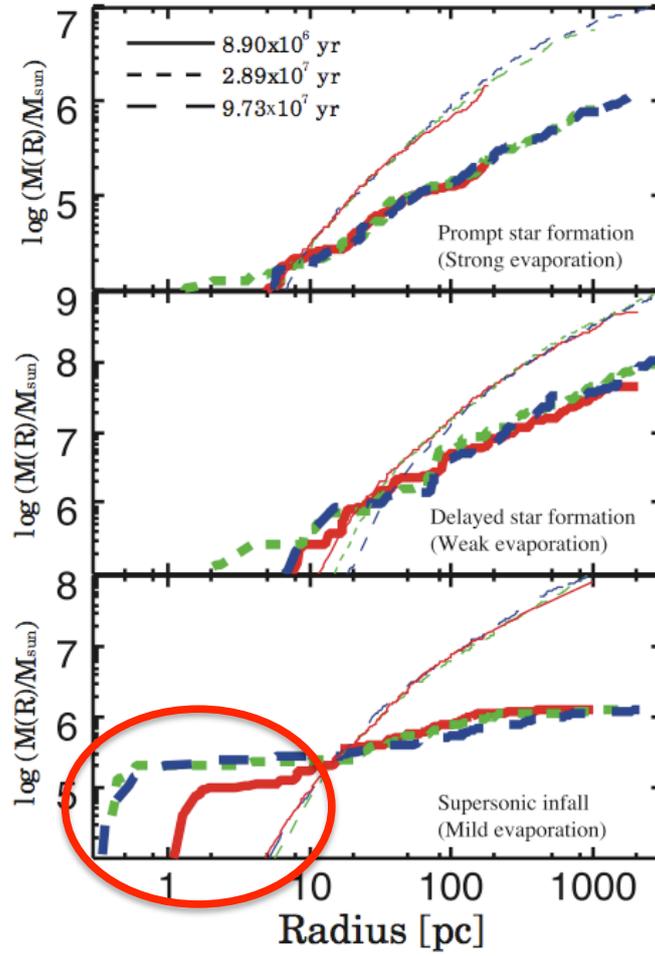


図 4: baryon と darkmatter の半径とその半径中の質量

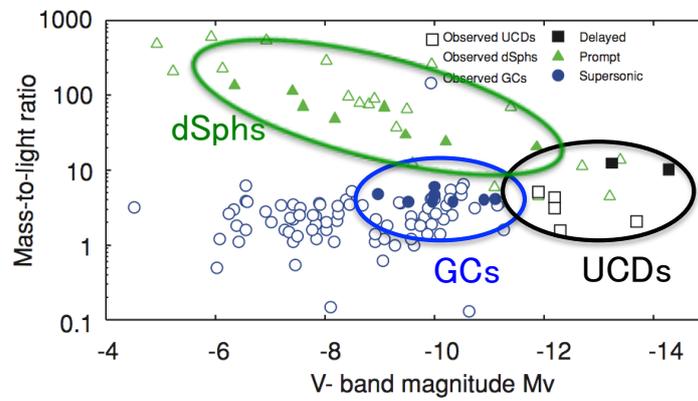


図 5: V-band 絶対光度と質量光度比の関係の、観測事実の比較

3.4 velocity dispersion

シミュレーションで得られた V-band 絶対光度と速度分散の関係について、観測結果と比較している。

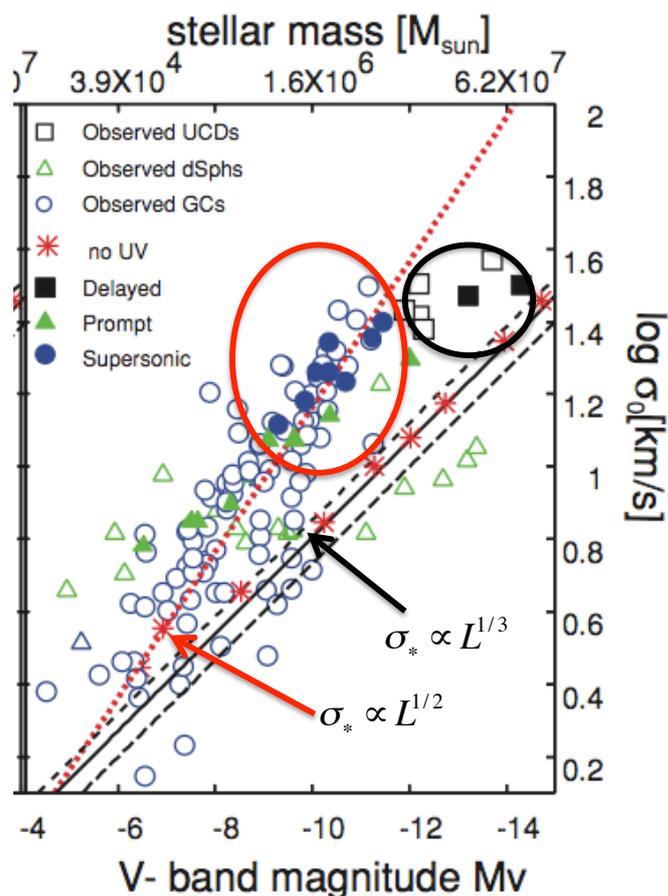


図 6: V-band 絶対光度と速度分散の関係の、観測事実との比較

紫外線輻射がない場合、速度分散と光度の関係は $\sigma \propto L^{1/3}$ となり、ビリアル定理から予想される結果となっている。一方紫外線輻射場中での星団形成プロセスは、いずれもこの結果と一致しなかった。

supersonic infall では大きなエネルギー散逸の結果、 $\sigma \propto L^{1/2}$ となり、球状星団の観測事実と一致した。

prompt star formation、delayed star formation はそれぞれ dSphs、UCDs をほぼ再現している。

4 Summary

一次元球対称の scheme で紫外線輻射場中での星団の形成についてシミュレーションを行い、紫外線が弱い場合には dSphs のような天体が形成される一方、紫外線が強い場合で

も、supersonic infall という形成プロセスにより compact な星団が作られることを新たに示した。

観測より得られた $\sigma \propto L^{1/2}$ という関係については、紫外線輻射場中での supersonic infall により説明されることがわかった。これにより形成された星団は、観測から得られた球状星団の観測結果についてもよく再現した。よって supersonic infall は、紫外線輻射場中での球状星団形成のシナリオとして有力である。