Why does the Milky Way have a metallicity floor?

(arXiv: 2406.08199v1)

2024/6/20
桐原 崇亘

Britton D. Smith,[1]★ Brian W. O'Shea,[2,3,4] Sadegh Khochfar,[1] Matthew J. Turk,[5,6] John H. Wise,[7] and Michael L. Norman[8,9]

[概要] 銀河系の低金属量星でみられるmetallicity floor($10^{-3.5}Z_\odot$)の起源として、銀河系形成初期のミニハロー中でのmetal-enrichedな星形成起源を提唱する。One zoneモデルを用いて、ガスの密度と化学熱進化を調査した。強いLW BG(H_2枯渇)のもと、ハロー中に$10^{-3.7}Z_\odot$の金属が存在すれば、ガスがミニハロー段階で重力不安定に達することがわかった。

[目的] 銀河系のMetallicity floorの説明を試みる。
金属がなければH_2で冷却。-> H_2と金属の冷却速度が等しくなるのはどのあたりか？

[独自性] 光解離LW BG下で、ミニハローが星を形成するためにはあるMetallicityに到達する必要がある？(という視点). ミニハローの進化をOne zoneに落とし込み、H_2に関するChemistryをOffにして、Metal coolingの影響をみた。

[ロジック] $D_{\rm trans} \equiv \log_{10}(10^{[\rm C/H]} + 0.3 \times 10^{[\rm O/H]})$ 遷移判別式(Frebel+07, ほぼmetallicity)
銀河系は$D_{\rm trans} \sim -3.5 (10^{-3.6} Z_\odot)$のmetallicity floorを持つ。これ以上では、IMFは普遍的(Krumholz+14)だが, 下回るとTop heavyなIMFを持つと期待されている(Klessen+23)。
fragmentを起こすかどうかの基準では、$10^{-5.5}Z_\odot$のdustがあればよい(Omukai+05)。
Step 1. Enzoを用いた宇宙論的ミニハロー・Pop III形成Sim. (Smith+15) Fig.1
Step 2. 7ハローのRad. profile(Fig.2)を用いて、長期的な密度・温度進化をOne zone計算。化学進化とCooling計算にはGrackleを使用。

[結果] 3Dシミュレーションの結果はうまく再現 Fig.3
H_2 coolingをOffにして、Metallicityを徐々に上げた場合の結果 Fig.4
Metallicityが高いと、coolingが効いて重力不安定を起こす。計算終了までにM_{BE}を超えるcritical metallicityの平均は$Z_{crit} = -3.71$.

[議論] 銀河系の低金属量星と今回のCritical metallicityを比較(Fig. 5)
D_{trans} (=-3.60)の指標で見ると、ほぼすべてのCEMP starsはD_{trans}のcritical valueの上に来る

[コメント]
このシナリオだとFloor近くにもっと低金属量星が集まりそう。fragmentation起源のゼロ金属量星ことは否定していない。ゼロ金属量星探査は粛々と進められることを期待。

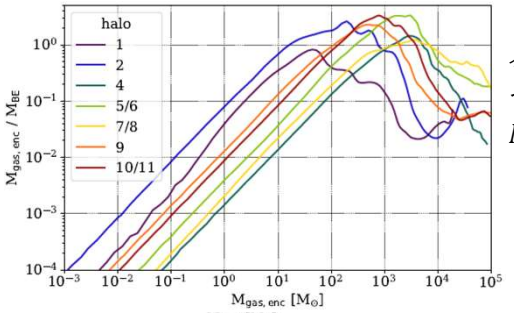


Fig.2
今回使用した7つのハローの$M_{gas,enc}/M_{BE}$

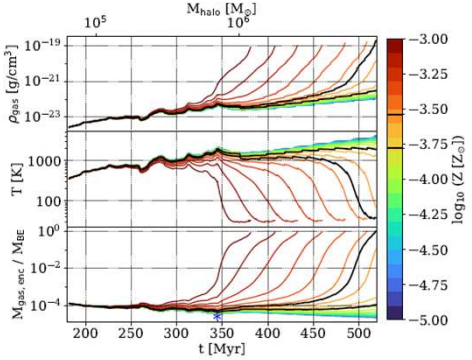


Fig. 4
ハロー10/11の物理量の時間進化
黒線が、このハローのcritical metallicityと最小metallicity

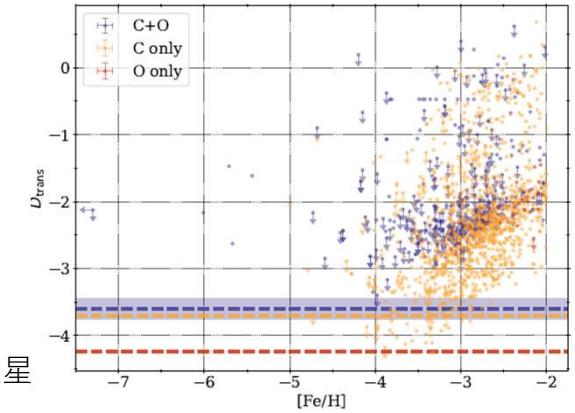
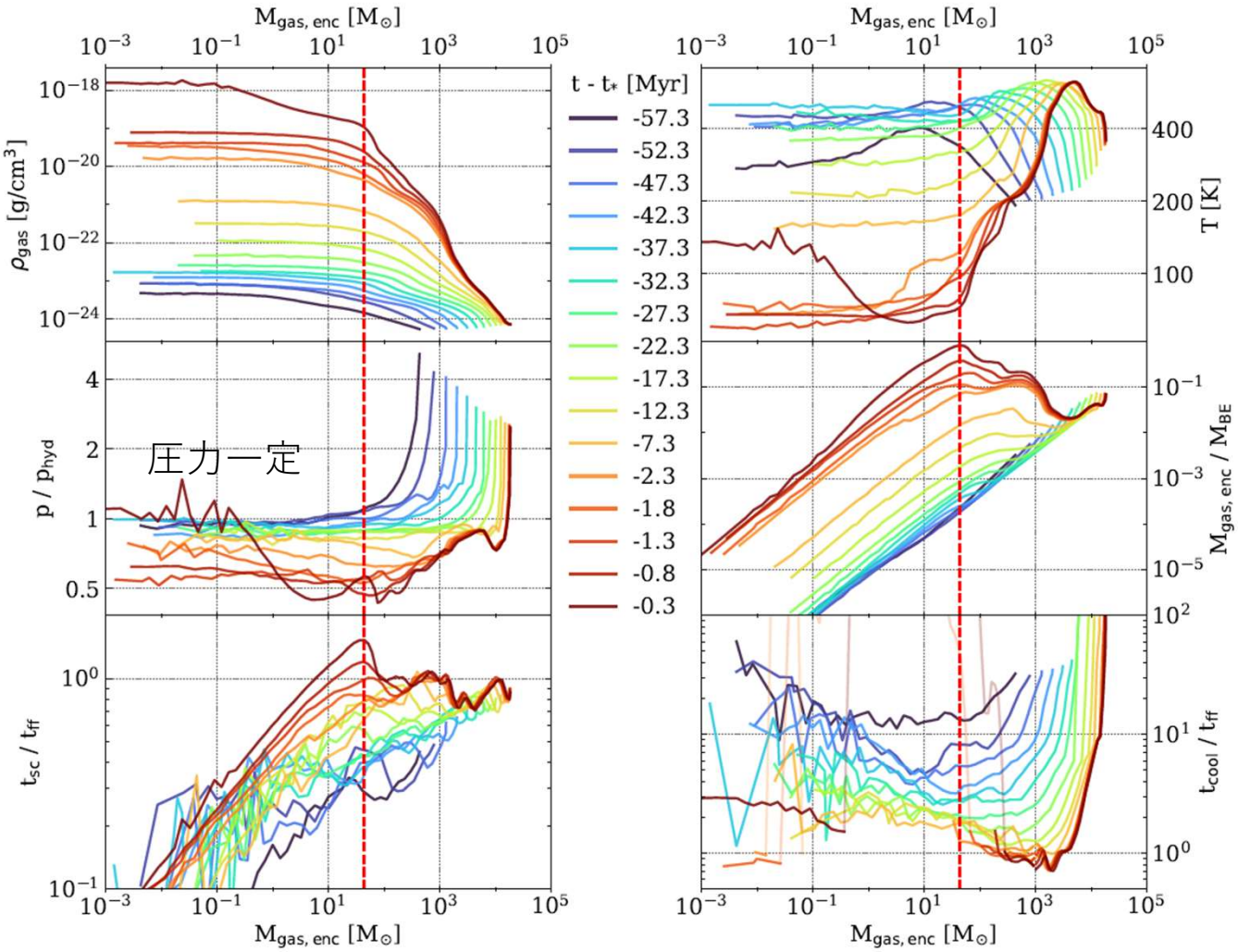


Fig.5
銀河系のMetal poor starsとD_{trans}

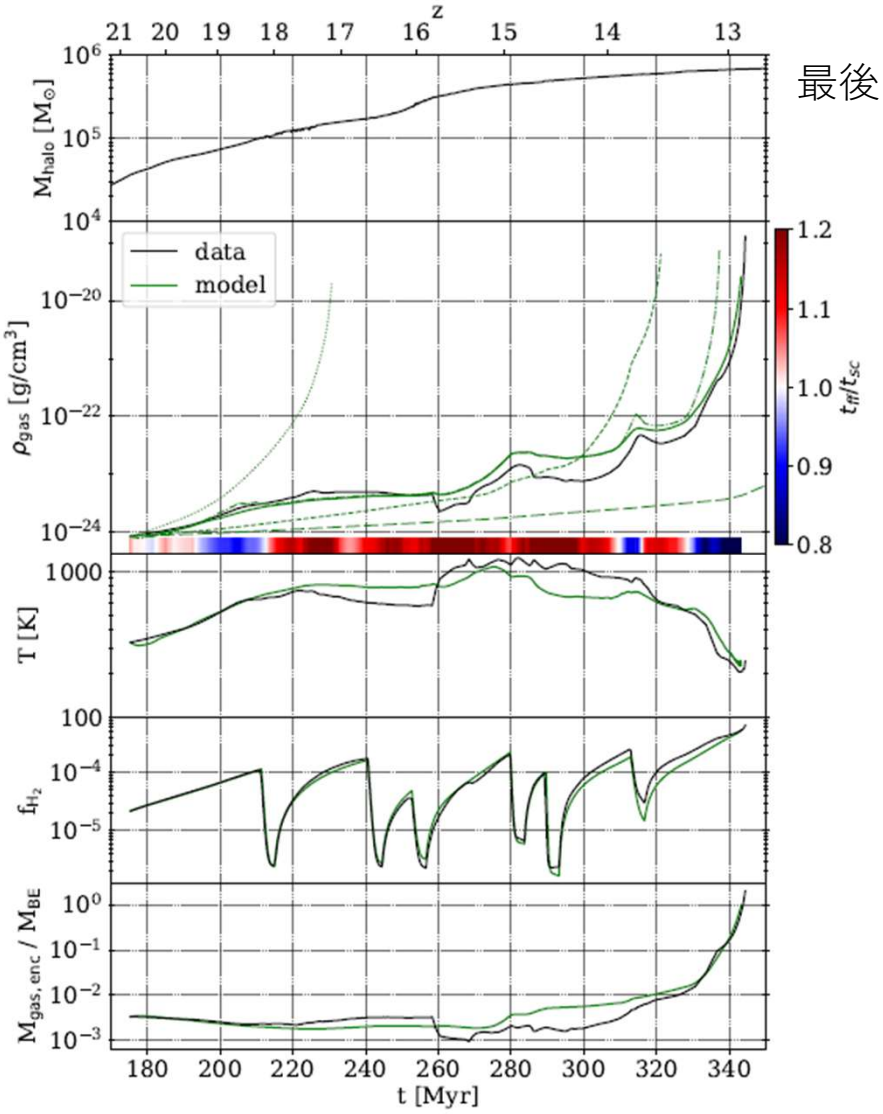
Figure.1 BE球の時間進化の様子(これをもとにOne zoneモデルを作成)



$$M_{\rm BE} \simeq 0.8 \times \frac{c_s^4}{G^{3/2} p^{1/2}},$$

一定の外圧を受けるガスのコアをもつ等温球が重力的に不安定になる最小の質量

Fig. 3 シミュレーションとone-zone minihalo modelとの比較(ハロー10/11)



最後の星ができるまでに7個の星が作られた

全ハローのCritical metallicityのまとめ

Halo	[Z_{cr}]	[Z_{min}]
1	-3.91	-4.21
2	-3.89	-4.10
4	-3.66	-4.25
5/6	-3.54	-3.94
7/8	-3.59	-3.67
9	-3.86	-4.35
10/11	-3.54	-3.78
mean	-3.71	-4.04
std.	0.16	0.23