AEOS is Mixing it Up: The (In)homogeneity of Metal Mixing Following Population III Star Formation

Jennifer Mead, Kaley Brauer, Greg L. Bryan, Mordecai-Mark MacLow, Alexander P. Ji, John H. Wise, Eric P. Andersson, Anna Frebel, Andrew Emerick, Benoit Côté, ApJ submitted, arXiv: 2509.13580

【アブスト】化学進化モデルでは多くの場合、元素が銀河全体で瞬時に均一に混ざる仮定をしている。本研究では、個々の星を分解した銀河形成シミュレーションAeosを用いてこの仮定の有効性を評価した。その結果、ガスの元素組成が均一と仮定できるのは星形成領域で~100 pc、星形成から~ 7 Myrの間のみだった。これより大きい空間、時間スケールでは、星とガスの元素組成の差は大きくなる。これは、高赤方偏移のハロー環境では、元素が瞬時に均一になる仮定は適さないことを意味する。

【オリジナリティ】ガスと星の元素組成の差に着目し、元素組成が均一と仮定できる範囲を定量的に評価した点。

【ゴール】元素組成が瞬時に均一に混ざるとする仮定が有効か評価する。

【ロジック】

(方法)

- シミュレーション：Aeos (Brauer et al. 2025)。1 cMpc^{3}の範囲でAMRコードENZOを用いた宇宙論的シミュレーション（空間分解能 1 pc, ダークマター粒子質量 1840 Msun)。Pop III ($Z < 10^{-5}$ Zsun)は 1-300 Msun、Pop II星は2-120 Msunの星を個々の星として扱う。
- ガスと星の元素組成の比較：Mahalanobis distance ($d_{\rm M} = \sqrt{(\mathbf{a}_{\rm star}-\mathbf{a}_{\rm gas})^{\rm T}\,\mathbf{C}^{-1}\,(\mathbf{a}_{\rm star}-\mathbf{a}_{\rm gas})}$) を用いてガスと星の元素組成差を定量化

(主な結果)

図 1：ある範囲で均一に混ざると仮定した場合の$d_{\rm M}$分布。 $d_{\rm M}$は小さい方がガスと星の組成が近いことを意味する。Local Cellの場合、$d_{\rm M}$の低いtailが存在する。このtailは、半径0.1 kpcの範囲を均一にした場合まで存在する。

図 2：$d_{\rm M}$の平均値と星が形成してからの時間の関係。~7 Myrで異なるサイズの領域の$d_{\rm M}$の平均値が交差している。これは、0.1 kpcより小さい領域でも、~7 Myrでガスの組成が実際に生まれる星の組成とは異なってしまうことを意味する。

図 3：Cold ($T < 1000$ K)、warm ($1000 < T < 20000$ K)、hot ($T > 20000$ K)ガスの$d_{\rm M}$分布。Coldガスは図 1 と似た傾向を示す一方、warm, hotガスでは、ガスと星の組成の違いが大きい傾向にある。これは、星はcoldガスから誕生するためである。

【コメント】結果の分解能依存性が気になる。また、今回はAMRのシミュレーションで評価したが、SPHなど他の手法の場合は結果がどのように影響されるか調べる必要がありそう。

図1

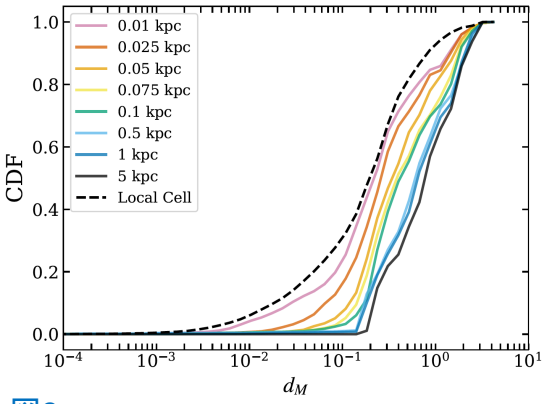


図2

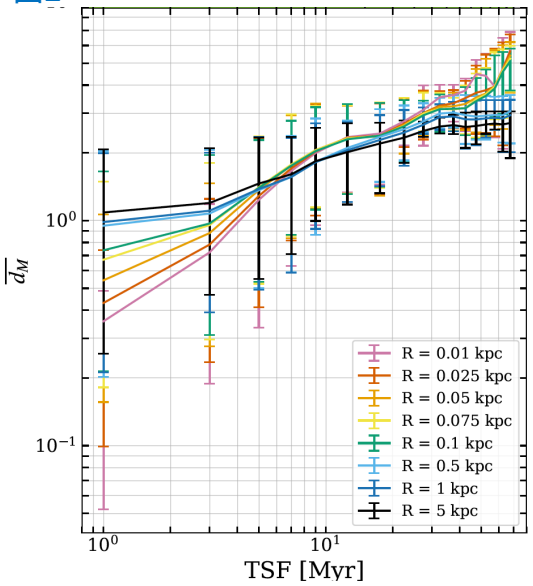


図3

