“Effect of interstellar objects on metallicity of low-mass first stars formed in a cosmological model”

GAゼミ@20190722 豊内 大輔

Kirihara et al. 2019, arXiv:1905.02974

【アブスト】

銀河系内にPop IIIの生き残りが存在する可能性があるが、これまでに観測例はない。その一つの原因として、Pop III表面への重元素を含むガスの降着があるが、恒星風によってガスは星に降着できないという理論計算もある。そこでこの論文では、ガスの代わりに最近観測されたオウムアムア(裏面)のようなInter stellar object (ISO)の星への降着を考える。結果として、この化学汚染メカニズムは非常に効率的で、Pop IIIは非常に高い金属量で観測される可能性もあることがわかった。

【手法】

- **宇宙論的N体計算 + FS形成モデル (Ishiyama+2016)** → MW like galaxy内のsurvived FSsの軌道の履歴。
- **FSへのISO降着、化学汚染モデル (裏面; Tanikawa+2018)** → FSの軌道履歴から、どれだけISOが降り積もるか。

【結果】

- 対流層が小さめの0.8 Msunの星は[Fe/H]が高くなりやすい（図１黒線より）。
- α の値 (ISOのサイズ分布のべき)が小さい方が、大きなISOによる効率的な汚染が行われるため、金属量高めになる（図１上下の比較より）。
- 観測された最低金属量は 0.75 Msun, 0.8 Msun でそれぞれ [Fe/H] ~ -6, -4（図１破線）。これより低金属量の星が多いモデルは、観測と反するの棄却できる。
  → **α < 2 くらいの方が良い。つまり基本的にFSはISOによってかなり化学汚染されている。**
- survived FSの平均金属量は空間依存する。当然、銀河中心に近いところに滞在するFSほど、ISO降着のチャンスが多いので高金属量になりやすい（図2より）。

【FS候補星についての議論】

1. [Fe/H]が図１のヒストグラムの領域とかぶる(星質量とαに依存する)。
2. ISOはPop I形成過程でできるはずなので、その組成はPop Iぽくなる。つまりISOで汚されたPop IIIの組成はPop Iに近い。→ CEMPは候補にならない。

→ 結果として、**α < 2 ならたくさんの星が survived FS の候補になる。**

【コメント・感想】

- 当然、ISOの空間分布の仮定にめちゃくちゃ依存する。
- 対流層が大きい、RGBだったらこの影響受けない。ただしMSに比べたらめちゃくちゃ数少ない。
- CEMP starが存在することから、ISO降着に制限つけられない？
- 円盤星の大気組成にも影響があったら嫌だなぁ。。。円盤星はよりISO降着のチャンスが大きい。

破線：観測されている最低金属量
0.75 Msun (赤)、0.8 Msun (黒)

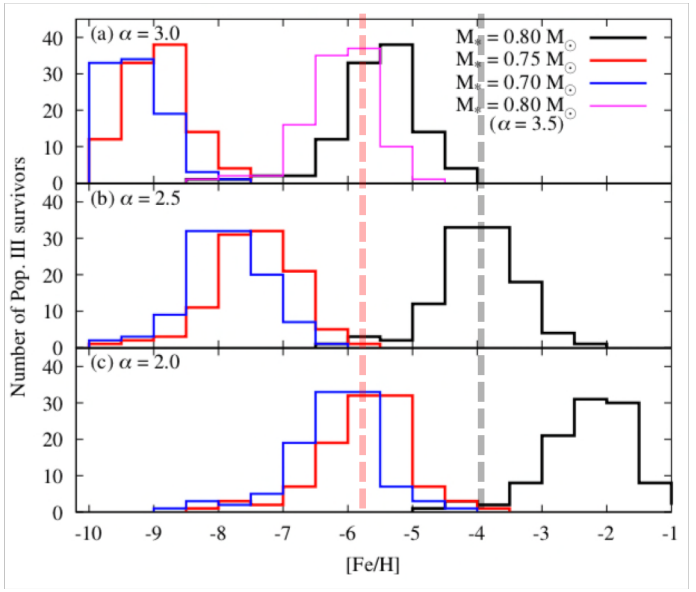


図1：現在太陽近傍にいるsurvived FSsの金属量分布（αと星質量依存性）

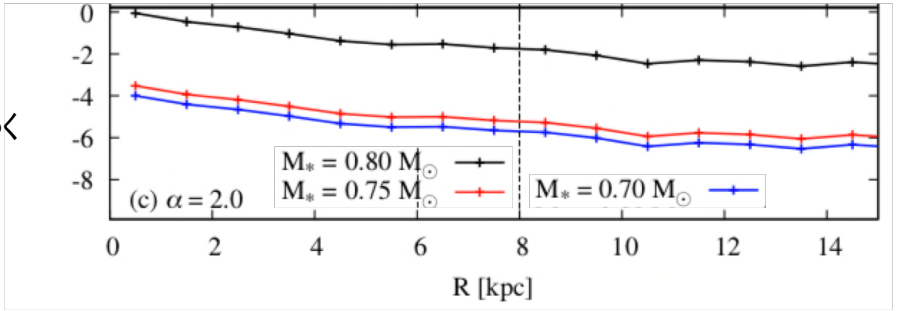
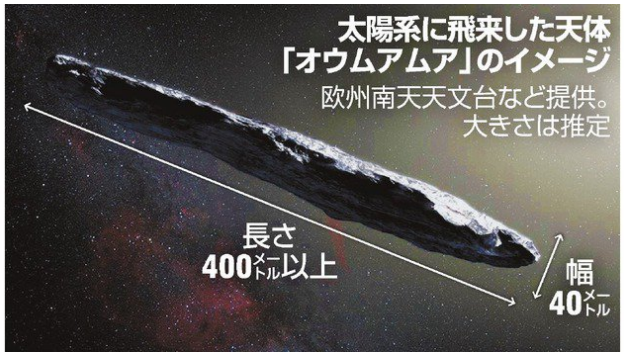


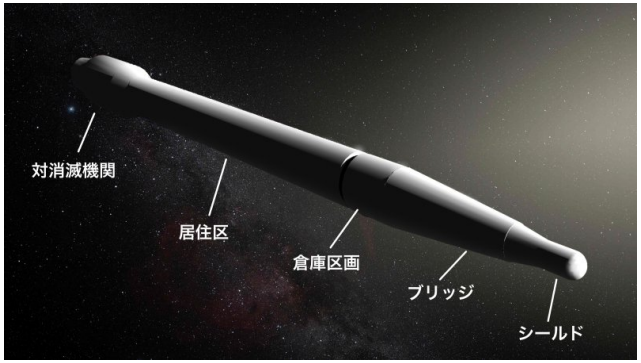
図2：survived FSの平均金属量のR依存性

Oumuamua

- 天体観測史上初となる太陽系外から飛来した星間天体(Inter Stellar Object, ISO)。名前の由来はハワイ語で『遠方からの初めての使者』、もしくは『斥候』。
- 2017年9月9日に太陽に最接近。現在は脱出速度より速く、太陽系から遠ざかっている。



- オウムアムアが太陽に接近、離脱する際に不自然な加速を行なったとし、太陽の輻射圧を利用した地球外文明の探査機である可能性を示唆する説が存在する(Bialy & Loeb 2018, ApJ, 868, L1)。



First starへのISO降着モデル

- ISOの空間分布 ∝ 銀河内のPop-I starの空間分布

$$n_0(R) = n_0 \exp\left(\frac{8\,\mathrm{kpc} - R}{a_\mathrm{d}}\right)$$

|z| < 400 pc以下で一様、それ以外はゼロ

a_d = 4.9 kpc, n_0 = 0.2 au^{-3} (Pan-STARRSのsurvey time & volumeより推測)
ISO は 5Gyr 前に突然円盤内に現れたと仮定。

- ISOのサイズ分布(大きいものが多いほど星を汚しやすい)

$$n = n_0 \left(\frac{D}{D_0}\right)^{-\alpha}$$

alphaはパラメータで、小さいほど大きなISOが増える。

- 星質量 M_* の FS に ISO が衝突(降着)する頻度

$$\dot{N}_{\mathrm{acc},0} = \frac{1}{\Delta t_\mathrm{ISO}} \int_{\Delta t_\mathrm{ISO}} f n_0(R(t)) \sigma |v(t) - V_\mathrm{circ}(R(t))| dt$$

衝突断面積

$$\sigma = \pi r_*^2 \left(1 + \frac{2GM_*}{r_* |v(t) - V_\mathrm{circ}(R(t))|^2}\right)$$

Δt_{iso} = 5 Gyr, v(t)はFSの運動速度、ISOは回転速度$V_{circ}(R)$で運動。

- FS への ISO の質量降着率(alphaの値に依存)

$$\dot{M}_\mathrm{acc} = \int_{D_\mathrm{max}}^{D_\mathrm{min}} \left\{ \frac{d\dot{N}_{\mathrm{acc},0}}{dD} \left[m_0 \left(\frac{D}{D_0}\right)^3 \right] \right\} dD$$

- ISOの降着を経験した FS の金属量

$$[\mathrm{Fe/H}] \sim \log_{10}\left(\frac{1}{f_\mathrm{conv}} \frac{\dot{M}_\mathrm{acc} \Delta t_\mathrm{pol}}{M_* Z_\odot}\right)$$

f_{conv} =
- 10^{-2} (M_* = 0.7 M_{sun})
- $10^{-2.5}$ (M_* = 0.75 M_{sun})
- $10^{-3.5}$-10^{-6} (M_* = 0.8 M_{sun})

f_{conv} は 質量M*の星において対流層が占める質量割合。
対流層が小さいほど汚しやすい → 0.8 M_{sun} の星が一番影響受ける。