Exploring the Sun's birth radius and the distribution of planet building blocks in the Milky Way galaxy: a multizone Galactic chemical evolution approach

2024/3/28 山口未沙

Junichi Baba, Takayuki R. Saitoh and Takuji Tsujimoto (2023) https://arxiv.org/abs/2310.10335

【アブスト】

独自のマルチゾーン銀河化学進化 (GCE) モデルを用いて、年齢-金属量 ([Fe/H]) 関係、金属量分布関数 (MDF)、abundance gradient、C, O, Mg, Siの[X/Fe]比の傾向など、主要な観測的制約を再現することに成功。さらに、MWの内側ほど鉄核が大きな大型惑星が形成されやすく、外側ほど水を多く含む小型惑星が形成されやすいことと示唆。以上から、太陽は~ 4.6Gyr前に銀河中心距離$R \simeq$ 5kpc地点で形成され、現在の位置$R \simeq$ 8kpc地点まで移動してきたことを主張。

【ゴール】

太陽の出生位置を踏まえ、MWの化学進化が太陽系全体の構造とhabitabilityに与える影響について議論する。

【オリジナリティ】

化学量論モデルとGCEモデルを融合して、惑星材料物質 (PBBs) のMWスケール分布の時間空間進化を調査。

【ロジック】

◆手法：

1. R(4 kpc ≤ R ≤ 16 kpc) と時間 t(0 ≤ t ≤ 13 Gyr) の関数として各ゾーンについてGCE方程式を解き、gas infall rate ($\Sigma_{\rm infall}$)、SFR ($\Sigma_{\rm SFR}$)、ガス、星の表面質量密度の変化(図1) と個々の元素 (H、He、C、O、Mg、Si、Fe) の分布の時間・空間進化(図3)を追跡。
2. Rとlook-back time $t_{\rm bk}(\equiv 13{\rm Gyr} - t)$の関数として、凝縮質量分率$f_{\rm cond}$ (図5)、ケイ素に対する鉄の質量分率$f_{\rm iron}$ (図6)、水の質量分率$f_{\rm water}$(図7)をプロット。

◆結果と議論：

- 図1 : 銀河円盤は内側から外側に星形成が進んでいく (inside-out)。観測とよく一致。
- 図2 : 特定のパラメータセットを使用した基準モデルにおける [Fe/H] の発展。太陽形成時には$R \simeq$ 5 kpcで [Fe/H] = 0。 現在付近では$R \simeq$ 8 kpcで [Fe/H] = 0となっていることが分かる。
- 図3 : 宇宙のCの半分はSNe II によって生成され、残りは主にAGB星によって生成される。AGB星（漸近巨星分枝星）はFeを生成しないので、[C/Fe]比はAGB星によって効率よく増強され、これらの星の寄与によって[Fe/H]=-1付近のバンプが形成。O, Mg, Si はSNe II で合成。Feは主にSNe Iaで合成。
- 図5, 6 , 7 : $f_{\rm cond}$, $f_{\rm iron}$…銀河円盤の内側ほど高く、外側ほど低い。時間と共に増加。
  $f_{\rm water}$…銀河円盤の内側ほど低く、外側ほど高い。時間と共に減少。

【コメント】

- 約5kpcで誕生した太陽が、外側に移動したことを完全に説明できる物理が確立できるかどうかが気になる。

図1

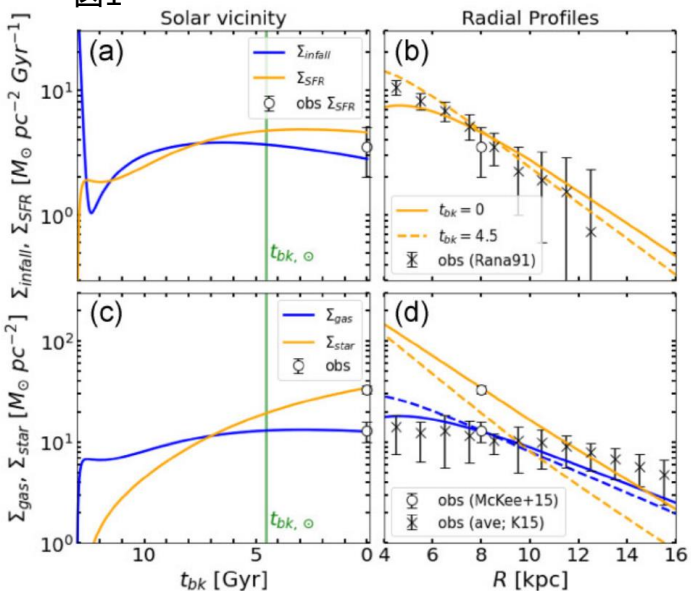


図5

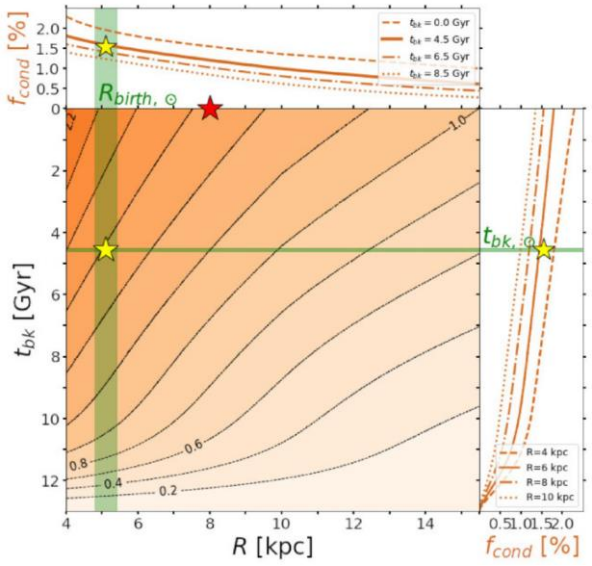


図2

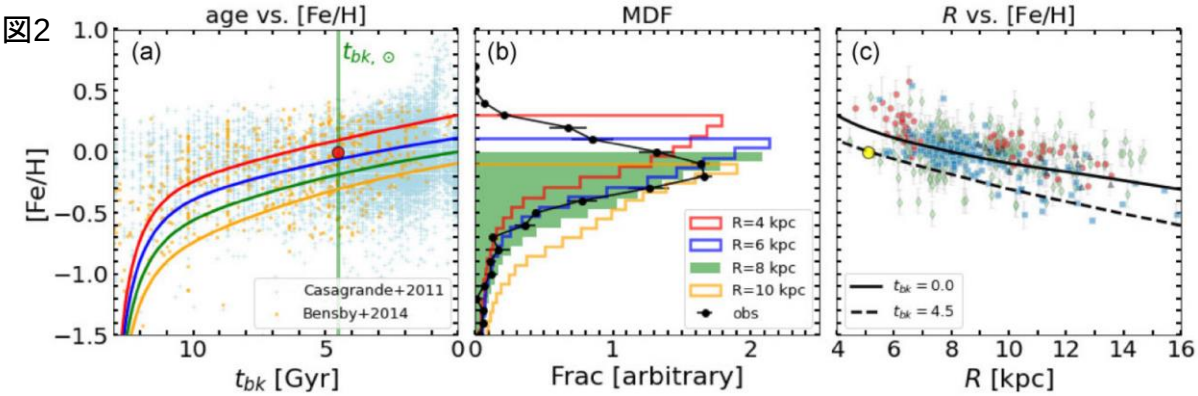


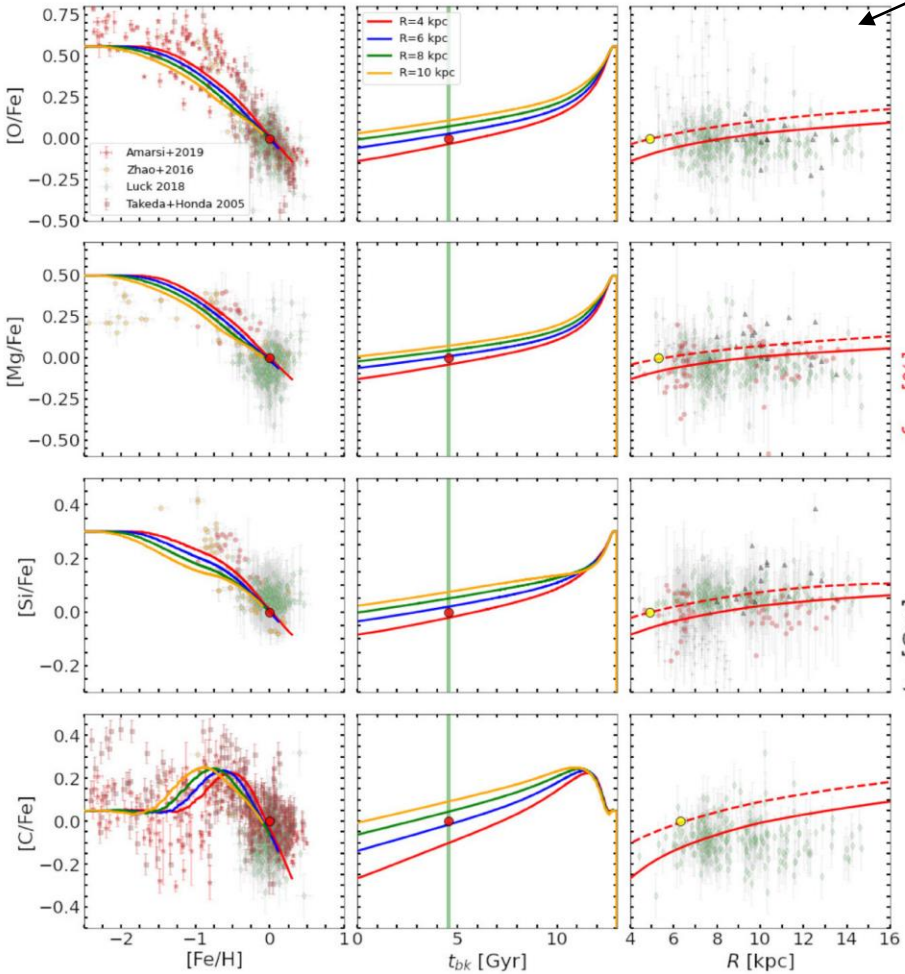
図2 : (a) 4つの異なる銀河中心距離における[Fe/H]の時間進化
$t_{\mathrm{bk},\odot}$: 太陽出生時の$t_{\mathrm{bk}} = 4.6\mathrm{Gyr}$

(b) 4つの異なる銀河中心距離における今日のMDF
obs : R = 8kpcのclassical Cepheids (約100Myr 以下の若い星で現在のISMを代表する組成を持つと考えられてる)と若い散開星団の観測データ

(c) ISM元素[Fe/H]の動径方向プロファイル

図3 : 4つの異なる銀河中心距離における、
左) [Fe/H]に対する[X/Fe]の時間進化
中央) t_{bk} に対する[X/Fe]の時間進化
右) ISM元素[Fe/H]の動径方向プロファイル（黄＆赤丸 : 太陽）

図3. GCEモデルにおける各元素の存在比の推移



実線 : 現在
点線 : $t_{\mathrm{bk}} = 4.6\mathrm{Gyr}$

図5, 6, 7 : 中央) 各質量分率fの$R - t_{\mathrm{bk}}$プロット
右) 4つの異なる銀河中心距離における各質量分率fの時間進化
上) 4つの異なる時間における各質量分率fの動径方向プロファイル
黄色星 : 予測される太陽の出生位置
赤星 : 太陽の現在の位置

図6. f_{iron}

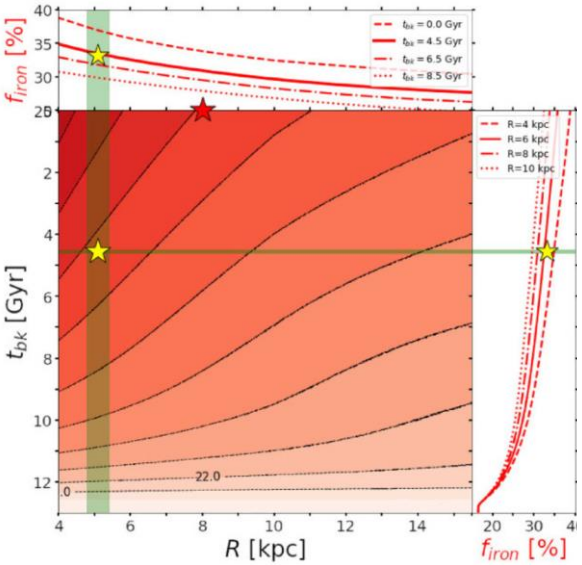
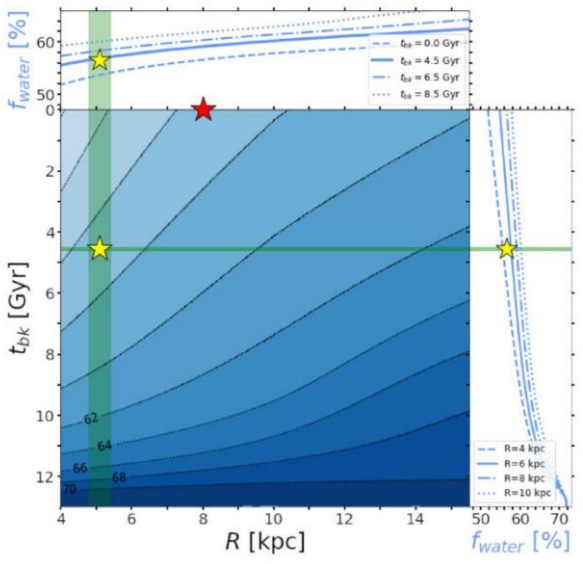


図7. f_{water}



R = 赤 : 4kpc、青 : 6kpc、緑 : 8kpc、黄 : 10kpc