The Three-Phase Evolution of the Milky Way

Chandra et al. (2023)　arXiv: 2310.13050　2023.11.16 (Thurs)　服部公平

概要

1000万天体の軌道と化学組成([Fe/H], [alpha/M])を用いて、銀河系の形成の統一的な描像を調べた。
[Fe/H]ごとに角運動量分布がどのように変化するかを調べると、３つのphaseが確認できる。
(1) ランダム運動を示すporto-galaxy; (2) 力学的に熱いold-disk; (3) 力学的に冷たいcold-disk.
TNG50のシミュレーションで見つかった銀河系-likeな系をもとにこのデータを解釈した。

ゴール　化学組成と軌道を用いた銀河系の歴史の統一的な理解。

オリジナリティ　Gaia XP スペクトルで得られたRGB星の([M/H], [alpha/M])のデータを用いた。
TNG50の結果と比較して、それぞれの構成要素の成因を考察した。

データ

（１）RGB stars 1000万天体。Gaia XP spectra から化学組成([M/H], [alpha/M])が推定されている。

（２）TNG-50 simulation data から選んだMW-analog.

結果1

Fig 5(a)　Fig 5(b)　Fig 5(c)

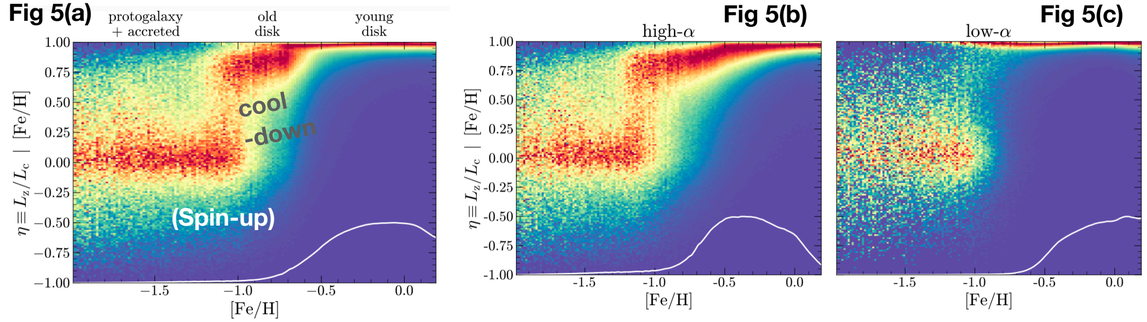


Fig 5, 7: [Fe/H]とcircularity (eta=Lz/Lcirc) の分布(column/row-normalizedな密度分布)。

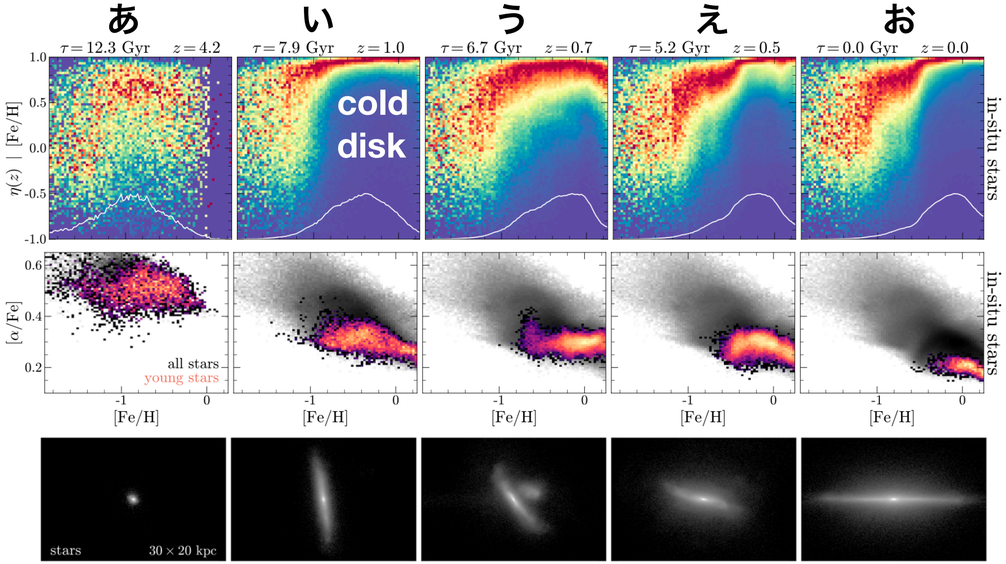
(proto-galaxy)
Gaia-Enceladus などが寄与。ほぼ無回転だが、median eta = 0.1 程度と、僅かにprograde。
初期には無回転だったが、ディスクの影響で回転を持った可能性あり。

(old-disk)
[Fe/H]=-1.2 程度で、全体の分布がspin-upする＝old-diskの形成。
MWはこの時期がかなり早い(early spin-up; Belokurov & Kravtsov 2022).
-1 < [Fe/H] < 0 にかけて、circularityは順調に大きくなる(円軌道化)。系外銀河のdisk settlingに類似。
Fig 7 に見られるSplash成分は、old-diskがGSEなどではね上げられたものと解釈できる。

(young disk)
非常に円軌道に近い軌道。[Fe/H]=-0.8 で形成され始めている(Fig. 5cの白線ヒストグラム + Fig. 6 参照)。

結果2

Fig 10: 最終状態がMWに似ている MW-analog (TNG50)の解析。
い：できた直後のold disk は、cold disk
う：z=0.7 のmajor merger によって
(1) disk heat-up
(2) disk tilt
の効果でold disk は厚みを増す。

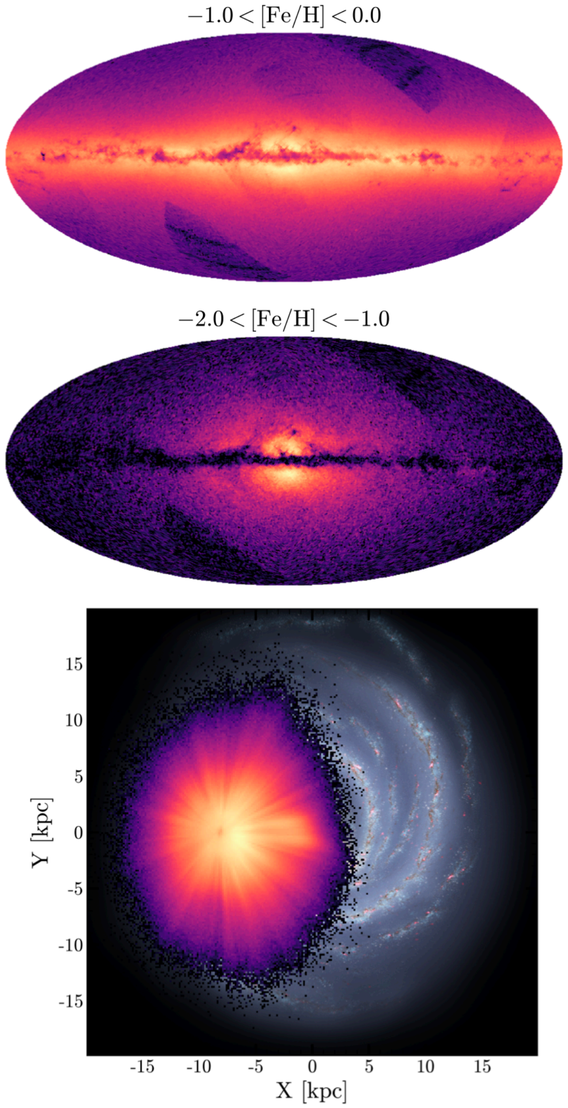


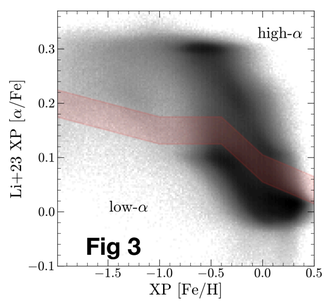
コメント

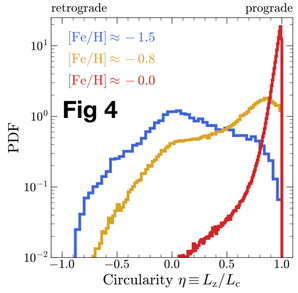
TNG50 で意味づけを与えているが、新しい描像というよりは、
今までの既知の結果を均質なデータから再構築した話。

alpha-abundanceが、high-alpha, low-alpha の切り分けにのみ用いられている。
せっかくalphaがあるので、さらに有効活用できないだろうか。

Fig1

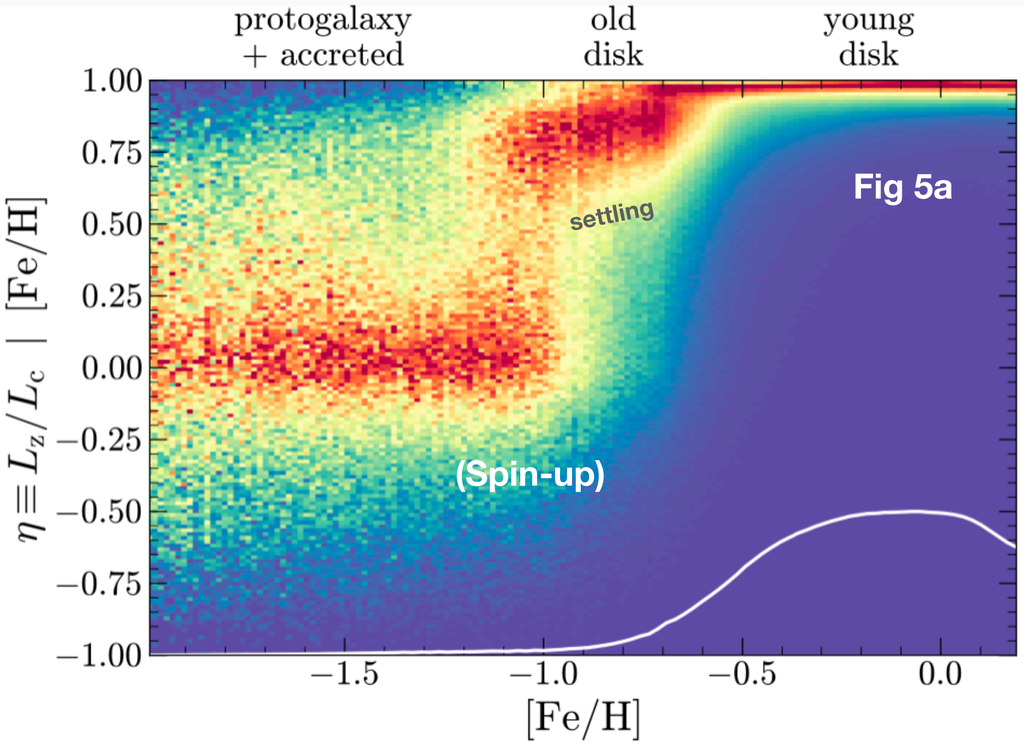

$-1.0 < [\mathrm{Fe/H}] < 0.0$
$-2.0 < [\mathrm{Fe/H}] < -1.0$
Y [kpc]
X [kpc]
15
10
5
0
-5
-10
-15


high-α
low-α
Li+23 XP [α/Fe]
XP [Fe/H]
Fig 3


retrograde
prograde
[Fe/H] ≈ −1.5
[Fe/H] ≈ −0.8
[Fe/H] ≈ −0.0
PDF
Circularity $\eta \equiv L_z/L_c$
Fig 4

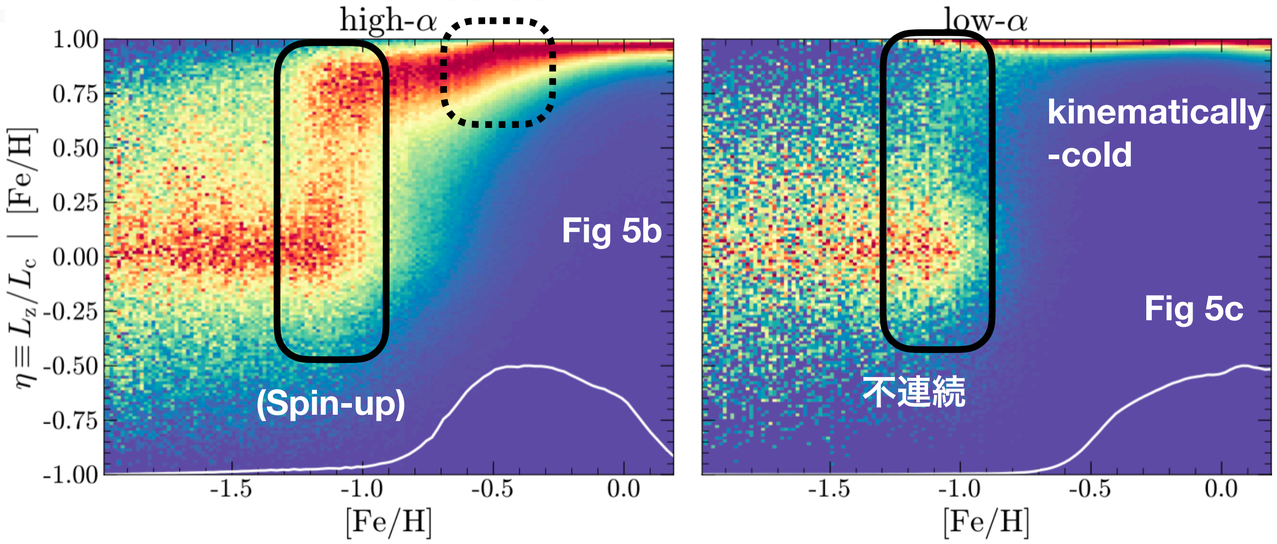
円運動に近づく

cool-down



円運動に近づく

cool-down

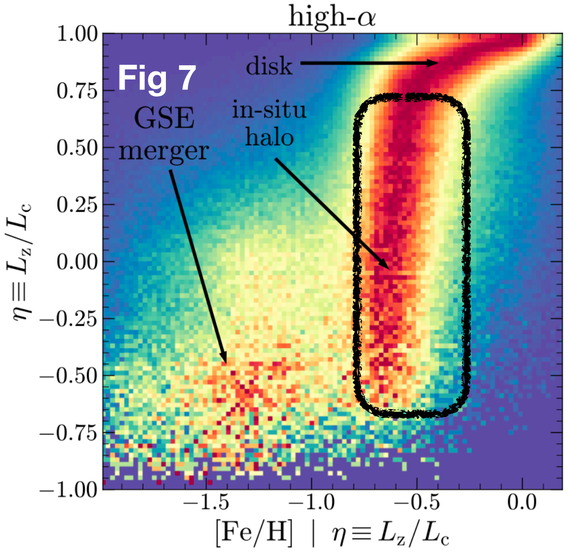


8Gyr ago

時間

high-alphaの星はタイトなAMR(Age-Metallicity Relation)を持つ(Xiang & Six 2022)。

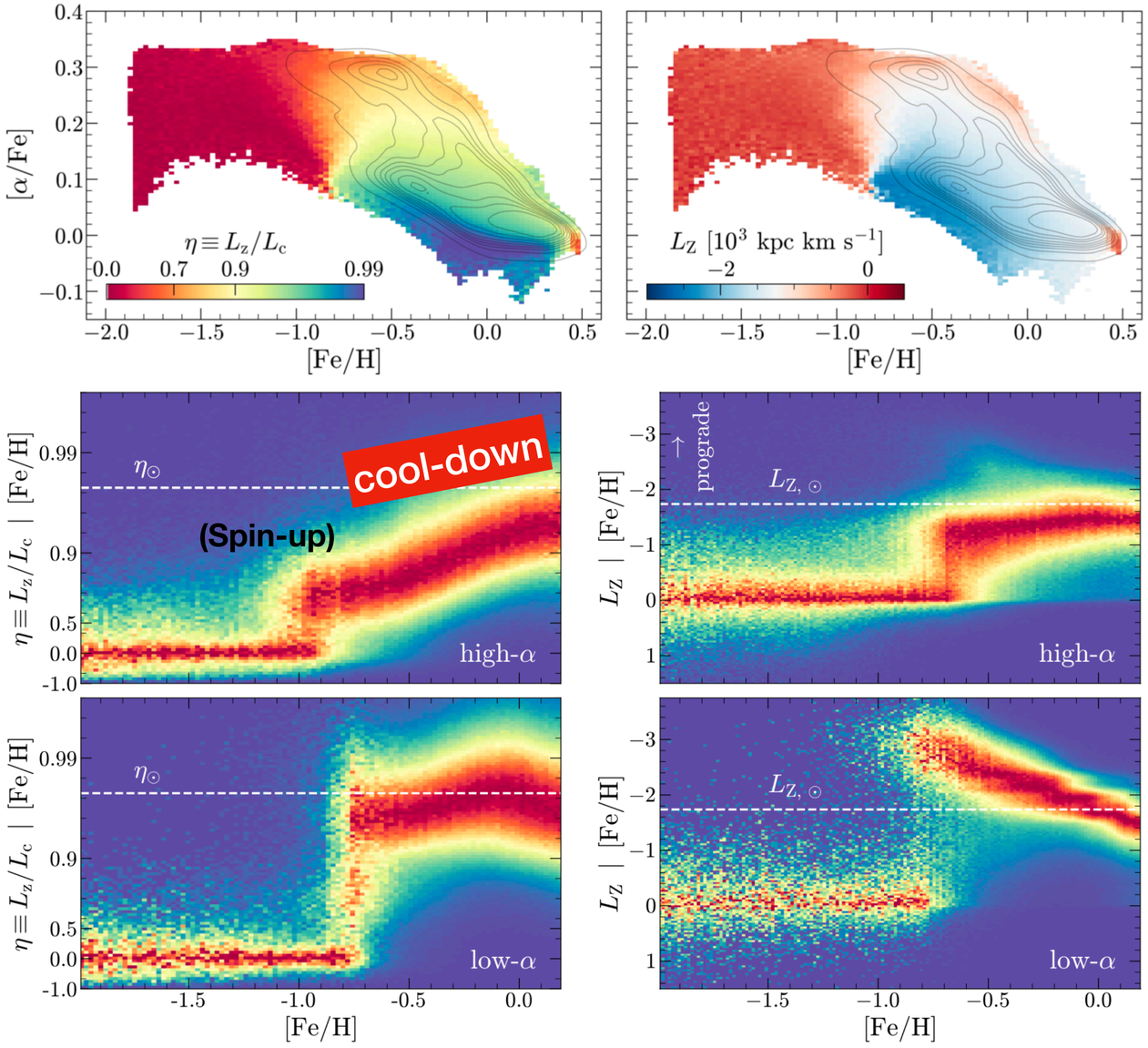
low-alphaの星は、[Fe/H]と時間はきちんと対応しないので注意
むしろ、[Fe/H]はbirth radiusに対応。



old disk にいた星が、
GSEなどによってkicked-outされたと解釈
(“in-situ”が図で使われているが、
“Splash”と表現することもある)

Fig 6

$\log(1-\eta)$



high-alphaの星は、

-1<[Fe/H]<0 において順調にeta空間で進化する。

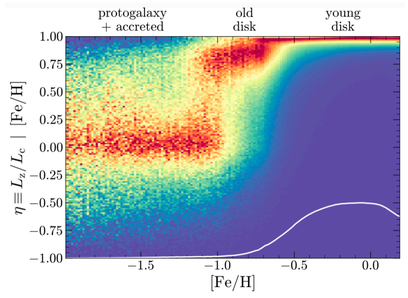
low-alphaの星は、

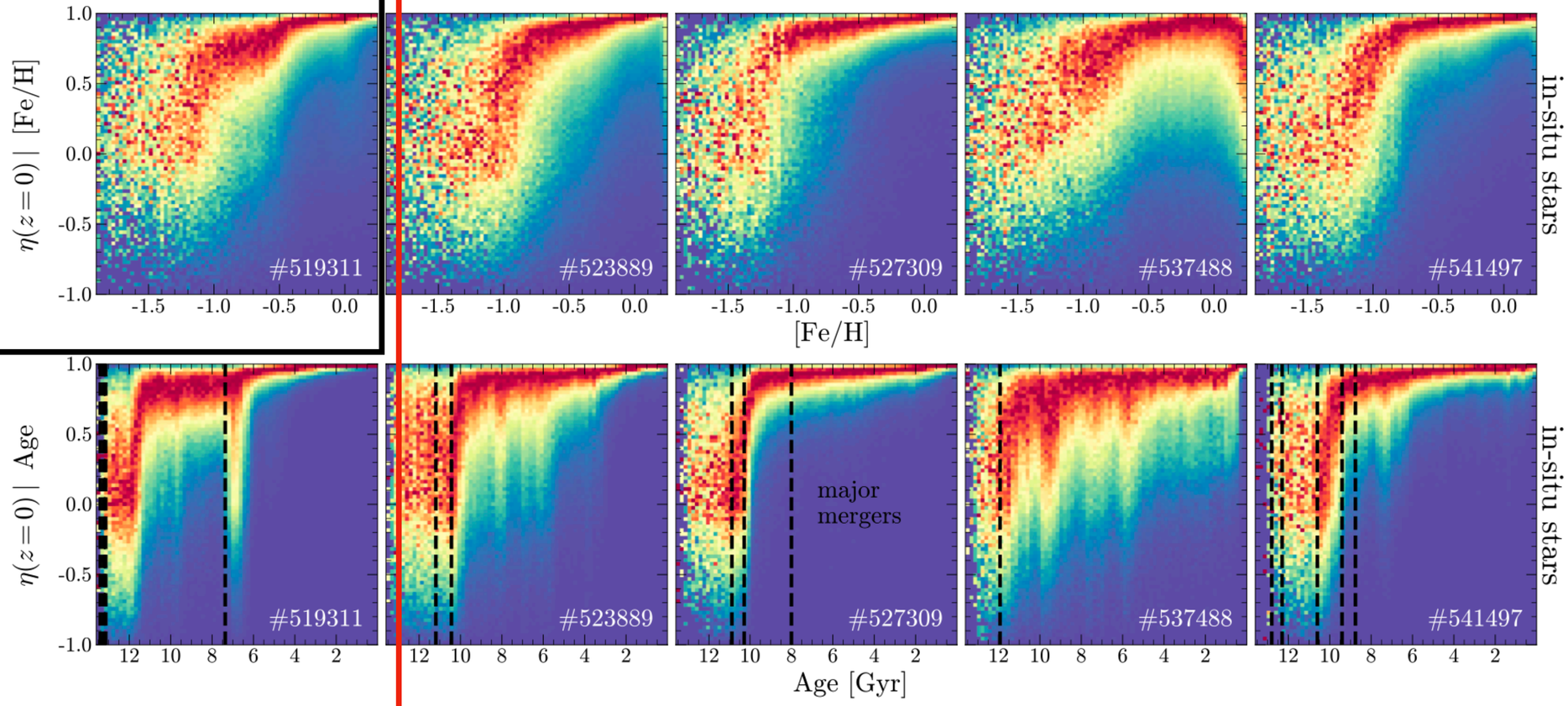
[Fe/H] < -0.8 で急激になくなる。

MW-analog(s) in TNG50 with early spin-up

The MW-analog
used in this paper

MW





black dashed lines
… major mergers

Fig 10

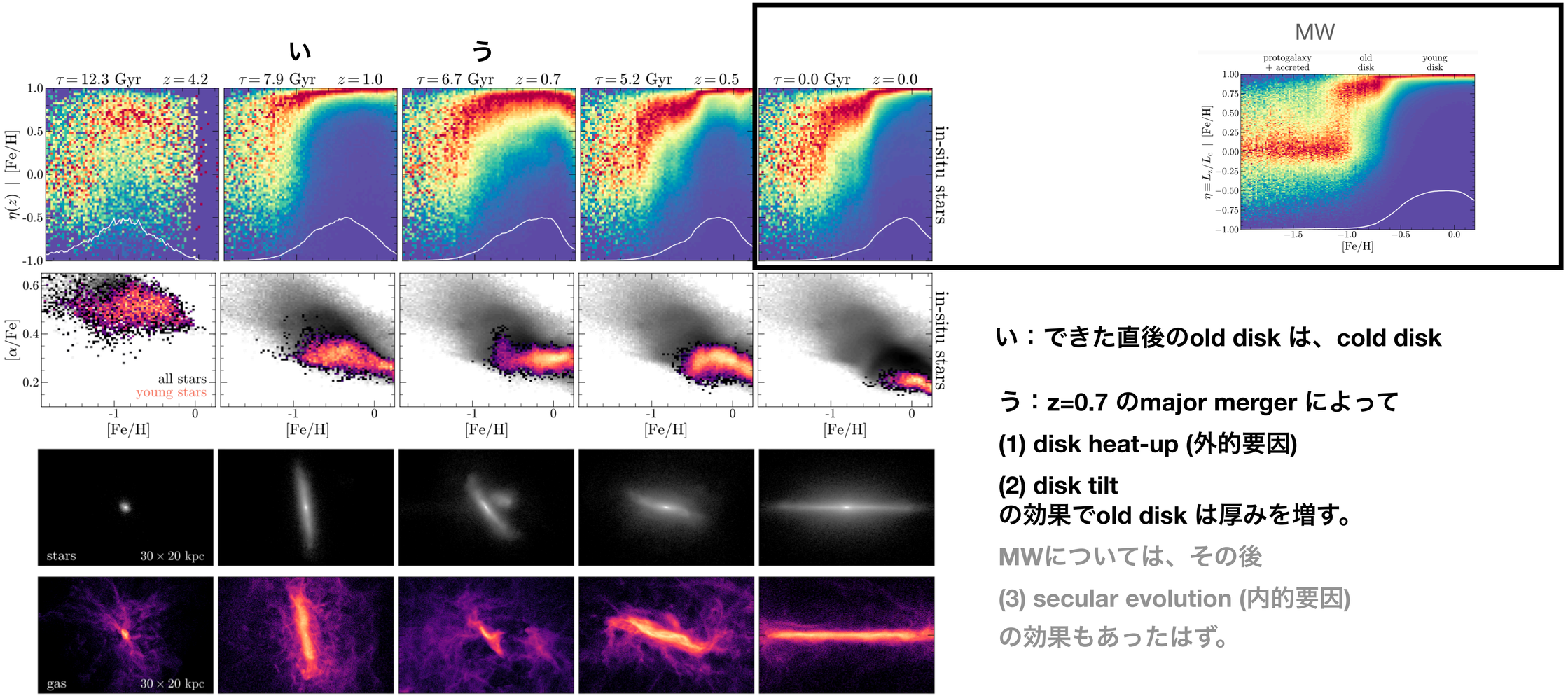


Figure 10. The evolution of TNG50 halo #519311 over cosmic time. 5 key snapshots are temporally ordered from left to right, with the lookback time and redshift indicated at the top. The top panel shows the orbital circularity-metallicity space for all *in-situ* stars born up to that time, whereas the second panel shows the [Fe/H]-[α/Fe] plane, with stars younger than 100 Myr in each snapshot highlighted. The orbital circularities are computed in a coordinate frame aligned with the net angular momentum of each snapshot. The third panel shows the logarithmic density of star particles in fixed coordinates oriented edge-on to the present-day disk, and the fourth panel shows the same for gas particles. This halo undergoes a major merger at $z \approx 0.7$, visible in the central panels. An animated version of this figure is available here.

い：できた直後のold disk は、cold disk

う：z=0.7 のmajor merger によって

(1) disk heat-up (外的要因)

(2) disk tilt
の効果でold disk は厚みを増す。

MWについては、その後

(3) secular evolution (内的要因)
の効果もあったはず。

proto-galaxy は初期には回転していないが、
ディスクの進化とともに角運動量を得た。

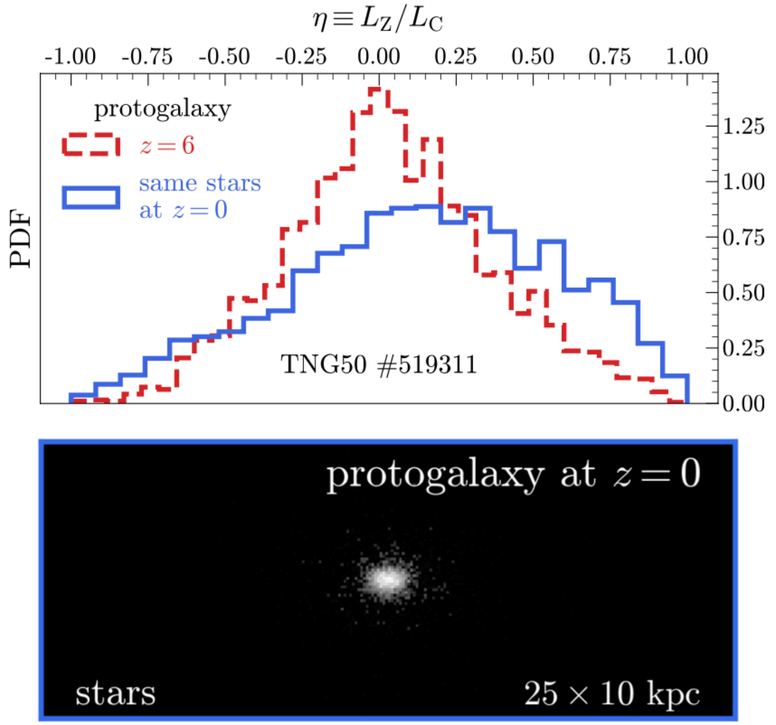


Figure 11. Top: The circularity distribution of all protogalactic stars in TNG50 halo #519311 born up to $z = 6$ (red), and the circularity distribution of those same stars at the present day (blue). Bottom: Edge-on spatial distribution of protogalactic stars at the present day.

old-disk は初期にはcold disk だったが、
merger を機にhot disk に進化。

