

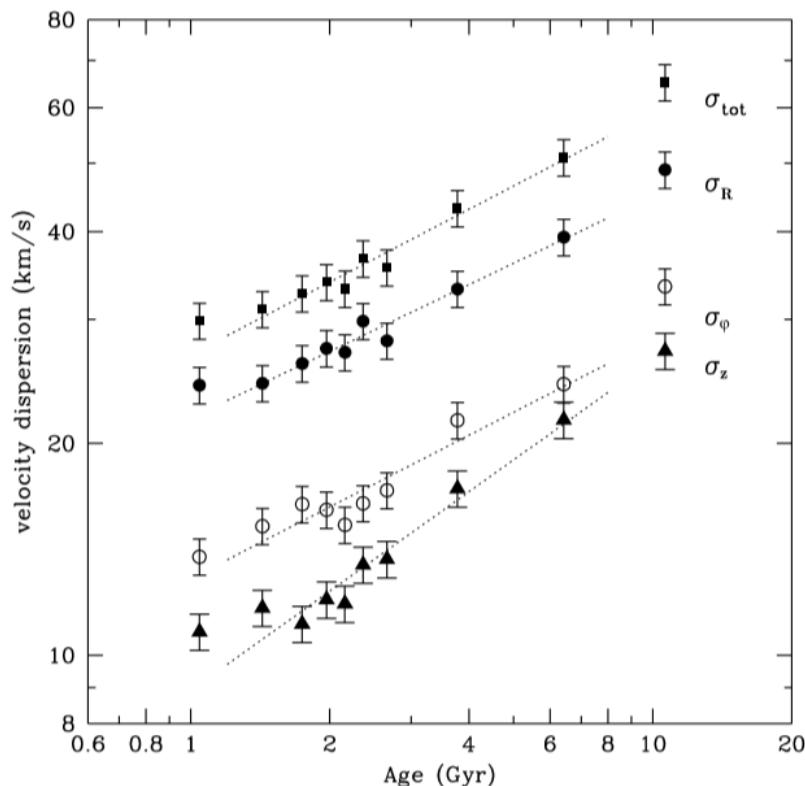
高分解能シミュレーションによる 星の年齢速度分散関係の起源の解明

熊本 淳(東北大学, 東京工業大学)

馬場淳一(愛媛大学), 斎藤 貴之(東京工業大学)

第3回 銀河進化研究会 2016/6/1-3

年齢速度分散関係



$$\sigma \propto \tau^\beta, \quad \tau: \text{age}$$

Observed exponents

Source	β_R	β_z
Fit to Robin et al. (2003)	0.33	0.33
Nordström et al. (2004)	0.31 ± 0.05	0.47 ± 0.05
Seabroke & Gilmore (2007)		0.48 ± 0.26
Holmberg et al. (2007)	0.38	0.54
Holmberg et al. (2009)	0.39	0.53
Aumer & Binney (2009)	0.307	0.445
Just & Jahreiß (2010)		0.375

Figure 8.11 The velocity dispersion of stars in the solar neighborhood as a function of age, from Nordström et al. (2004). From bottom to top, the plots show the vertical dispersion σ_z , the azimuthal dispersion σ_ϕ , the radial dispersion σ_R , and the RMS velocity $(\sigma_R^2 + \sigma_\phi^2 + \sigma_z^2)^{1/2}$. The lines show fits of the form $\sigma_i \propto t^\alpha$ where t is the age; from bottom to top the best-fit exponents α are 0.47, 0.34, 0.31, and 0.34.

Heating Source

AVRを形成する要因

- giant molecular clouds (Spitzer & Schwarzschild 1951, 1953)
- combinations of GMCs and spiral arms (Carlberg 1987)
- minor mergers (Toth & Ostriker 1992; Walker et al. 1996)
- halo black holes (Lacey & Ostriker 1985)

Heating by Giant Molecular Clouds

Kokubo & Ida (1992)

巨大分子雲の重力場の影響下で運動する星の軌道を計算

$$\Rightarrow \sigma_R, \sigma_z \propto t^{0.25}$$

Hanninen & Flynn (2002)

N体(恒星円盤) + 巨大分子雲(定密度球)のシミュレーション

$$\Rightarrow \sigma_R \propto t^{0.21}, \sigma_z \propto t^{0.26}$$

★観測されるAVRのベキよりも小さい

問題点

- ガス(星形成)を扱っていない
- 巨大分子雲を単純化

Observed exponents

Source	β_R	β_z
Fit to Robin et al. (2003)	0.33	0.33
Nordström et al. (2004)	0.31 ± 0.05	0.47 ± 0.05
Seabroke & Gilmore (2007)		0.48 ± 0.26
Holmberg et al. (2007)	0.38	0.54
Holmberg et al. (2009)	0.39	0.53
Aumer & Binney (2009)	0.307	0.445
Just & Jahreiß (2010)		0.375

Simulation

ASURA code (N-body+SPH)

gravity

tree method ($\theta=0.5$)

Phantom-GRAPE (Tanikawa et al. 2013)

cooling function : Wada et al. 2009

$20\text{K} < T < 10^8\text{K}$

star formation

criteria : ① $\nabla \cdot \nu < 0$ & ② $T < 100\text{K}$ & ③ $n_H > 100\text{cm}^{-3}$

IMF: Salpeter initial mass function (Salpeter 1955)

Model

Halo potential : NFW profile

$$\rho_{halo}(x) = \frac{\rho_c}{x(1+x)^2}$$
$$x = \frac{r}{r_s}, \rho_c = 4.87 \times 10^6 M_\odot kpc^{-3}, r_s = 21.5 kpc$$

Stellar disk potential : Miyamoto-Nagai potential

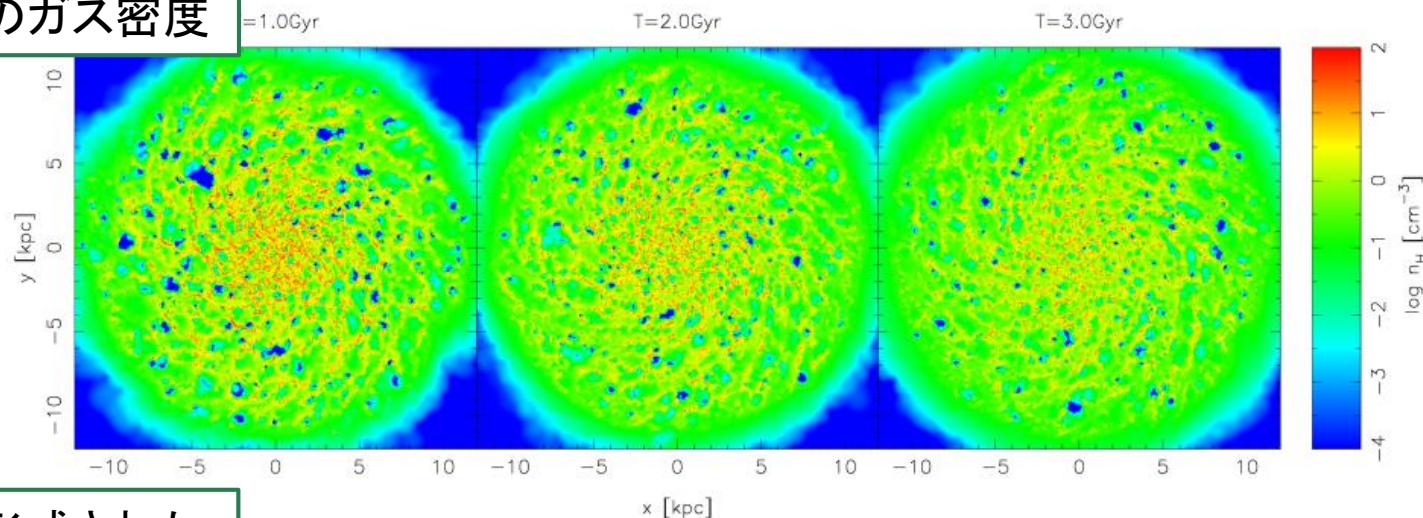
$$\rho_*(R, z) = \left(\frac{M_* z_*^2}{4\pi} \right) \times \frac{R_* R^2 + \left(R_* + 3\sqrt{z^2 + z_*^2} \right) \left(R_* + \sqrt{z^2 + z_*^2} \right)^2}{\left[R_*^2 + \left(R_* + \sqrt{z^2 + z_*^2} \right)^2 \right]^{\frac{5}{2}} (z^2 + z_*^2)^{3/2}}$$
$$M_* = 4.0 \times 10^{10} M_\odot, R_* = 3.5 kpc, z_* = 400 pc$$

Gas disk : simple exponential disk (SPH)

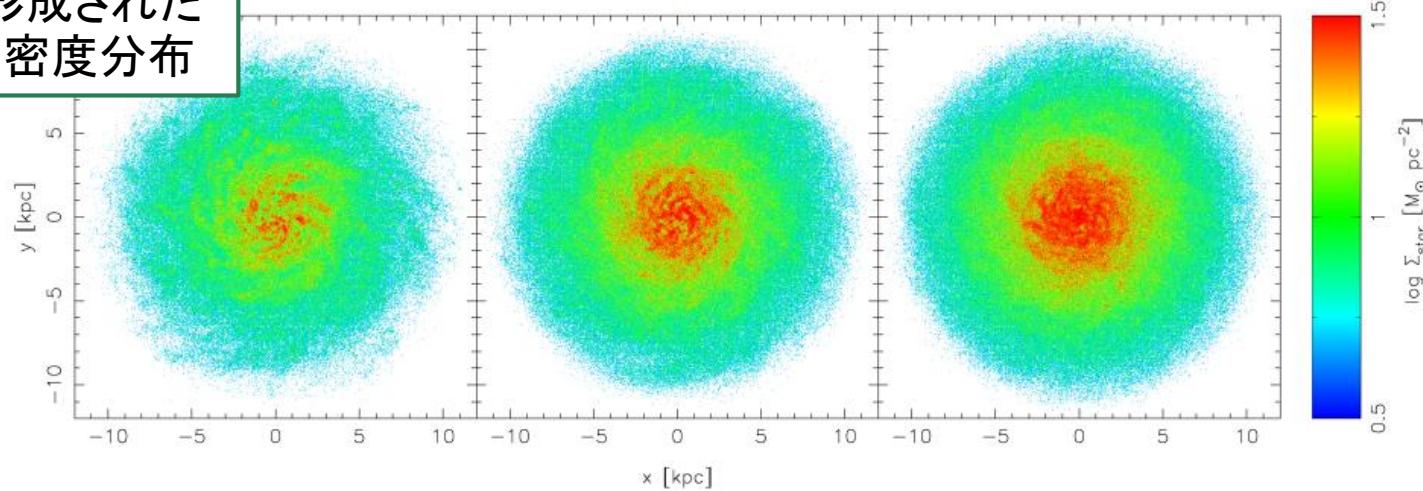
$$R_{gas} = 7 kpc, z_{gas} = 400 pc, f_{gas} = \frac{M_{gas}}{M_{gas} + M_*} = 0.15,$$
$$T_{init} = 10^4 K, N_{gas} = 10^6$$

Snapshot

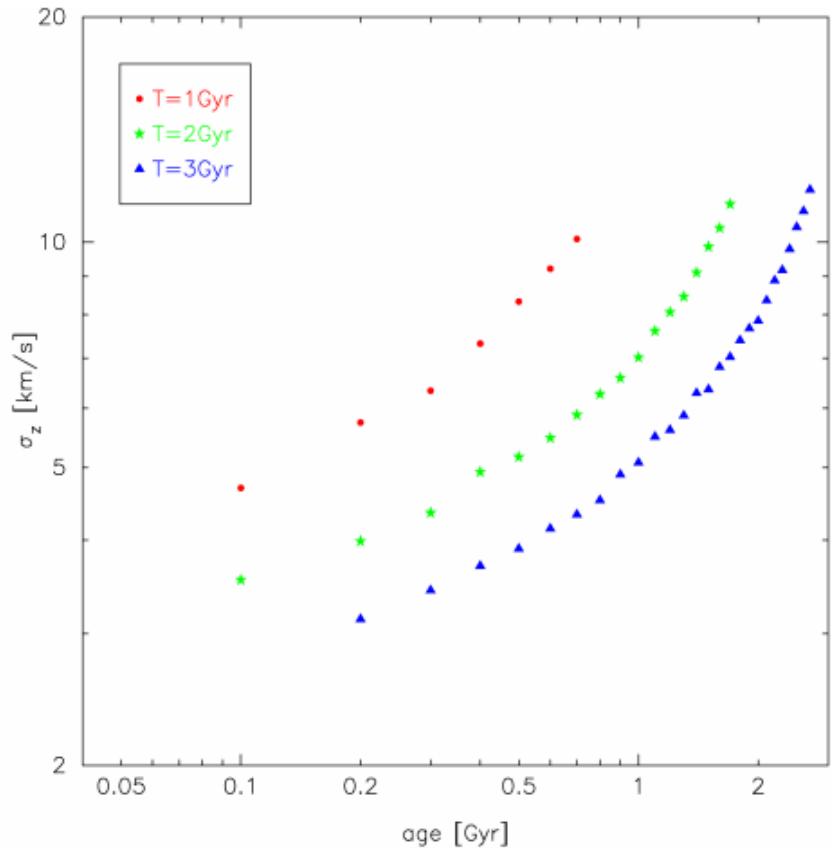
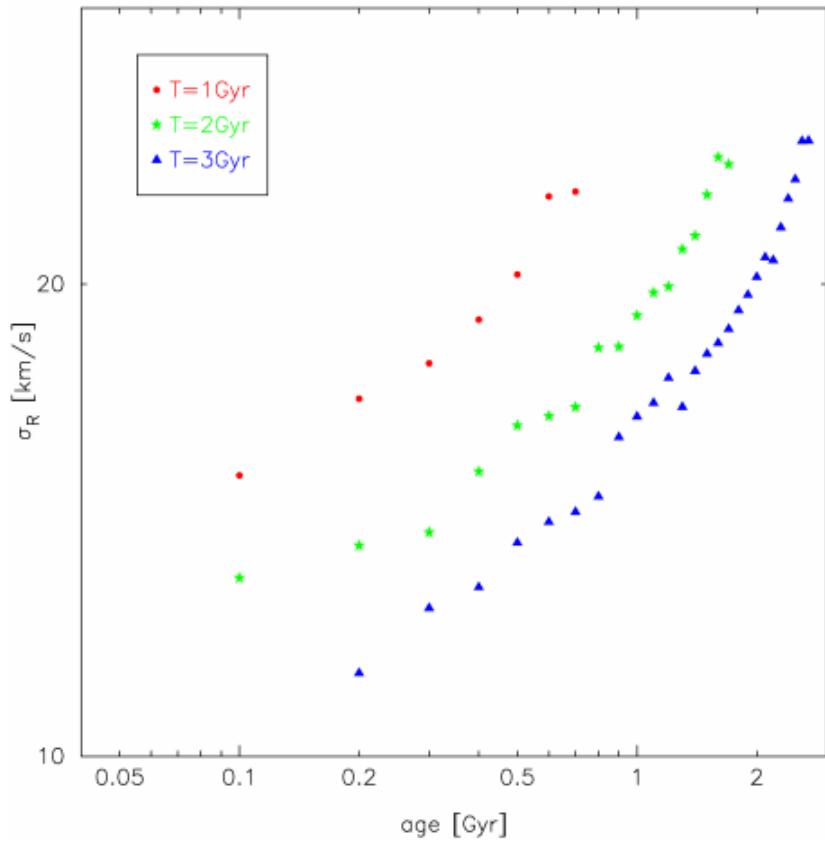
銀河面でのガス密度



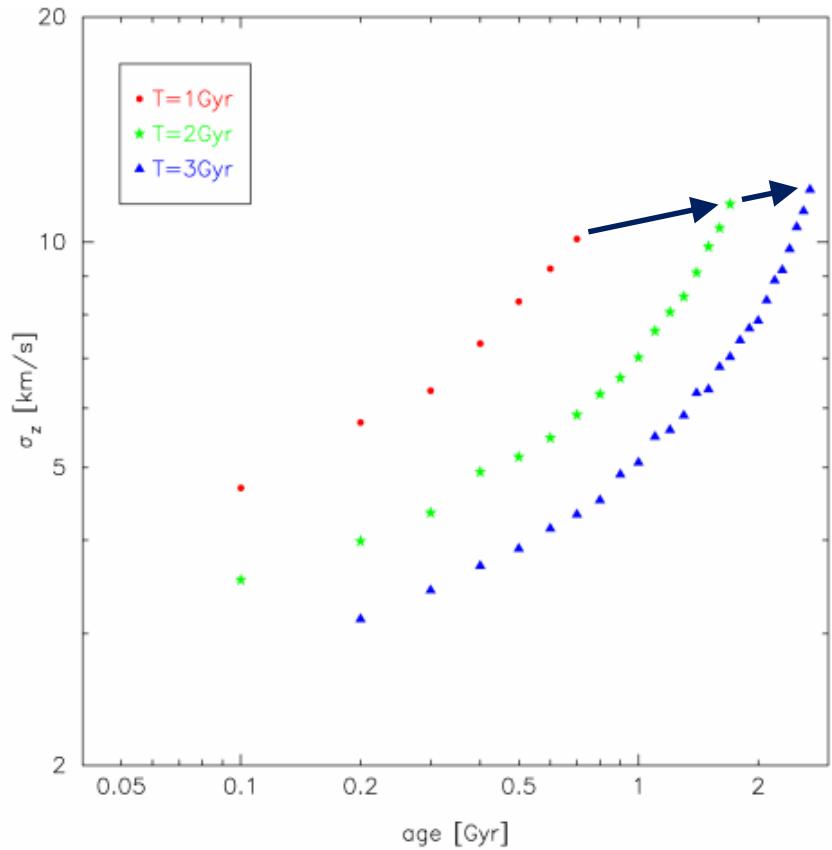
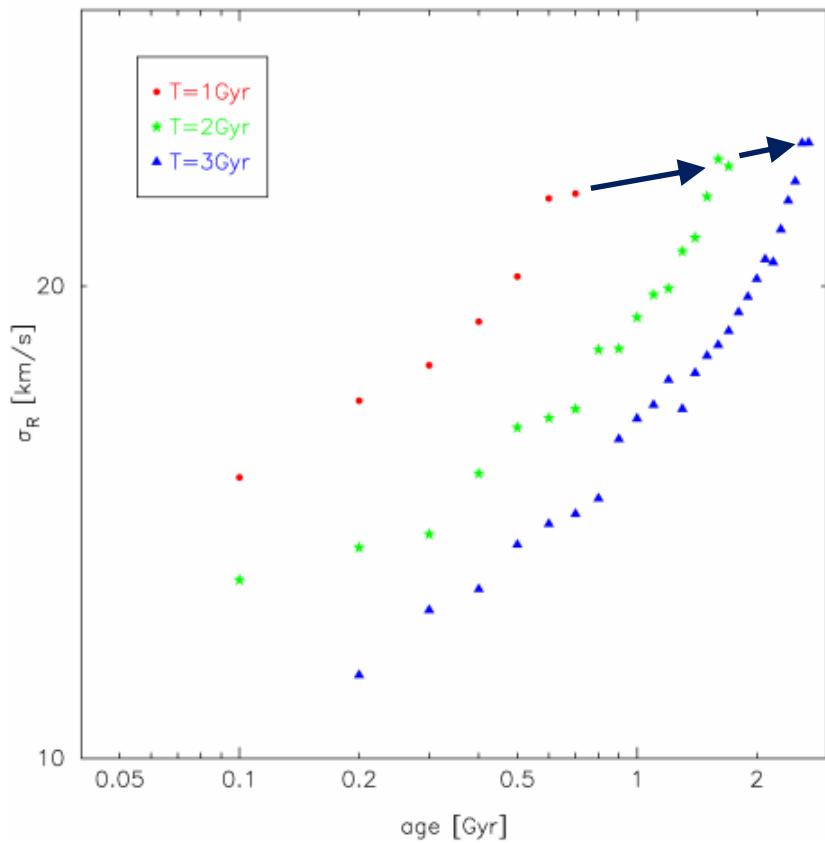
ガスから形成された
星の表面密度分布



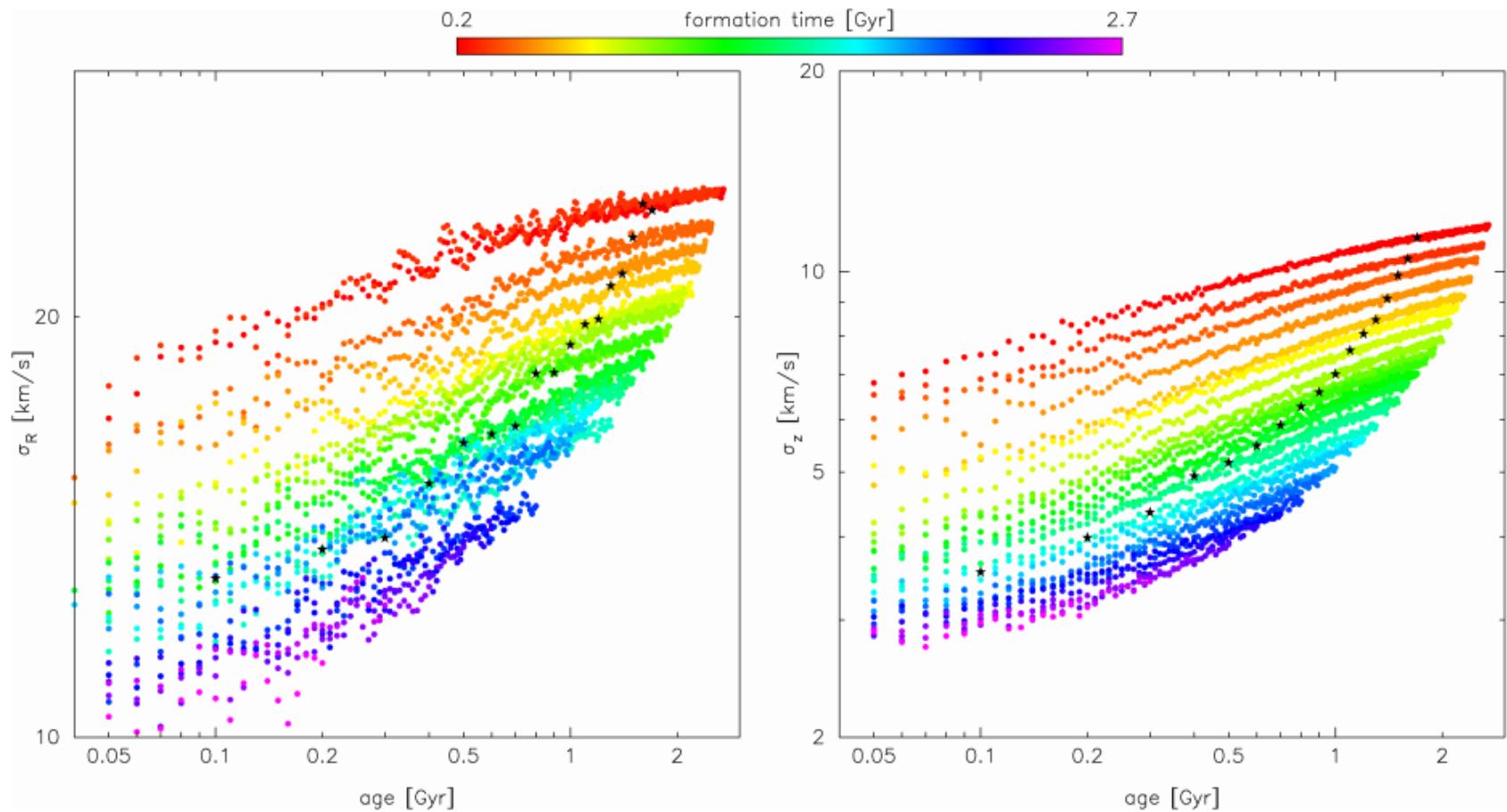
年齢速度分散関係 at $T = 1, 2$ and 3 Gyr



年齢速度分散関係 at $T = 1, 2$ and 3 Gyr

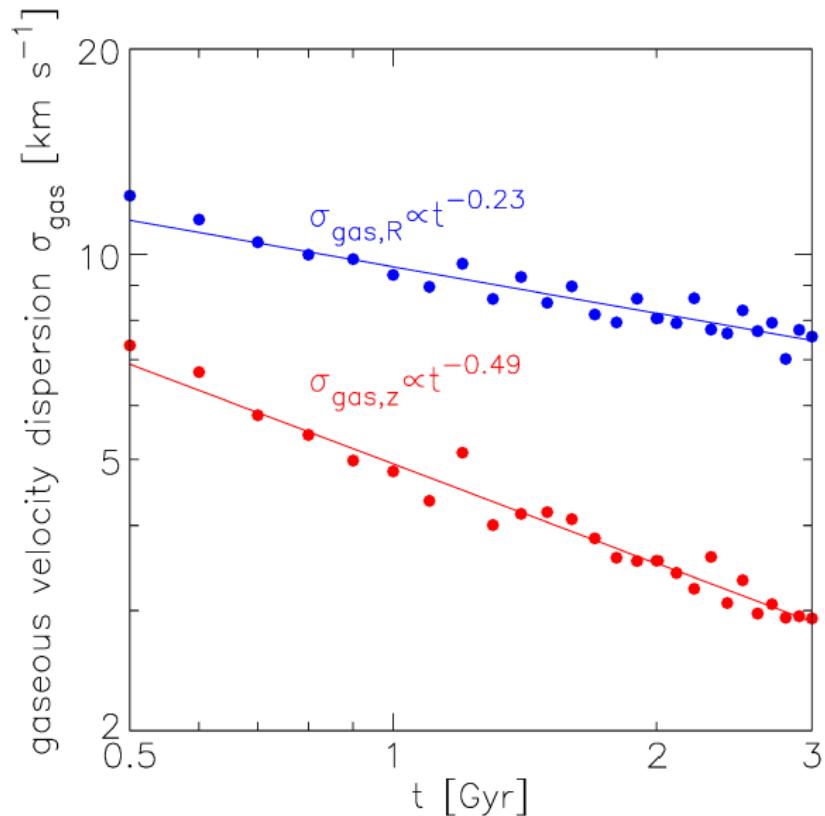


速度分散の時間進化



“年齢速度分散関係と速度分散の時間進化は一致しない”

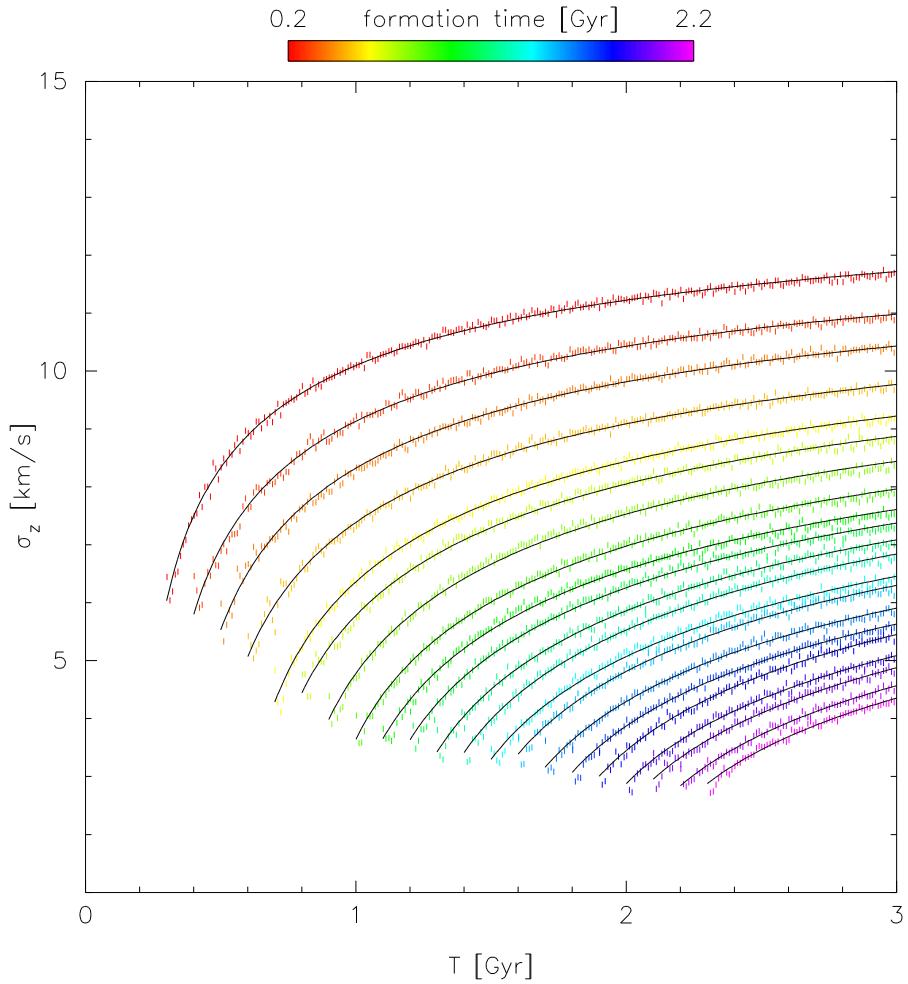
Gaseous Velocity Dispersion



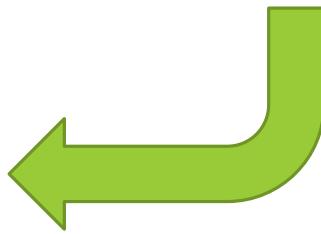
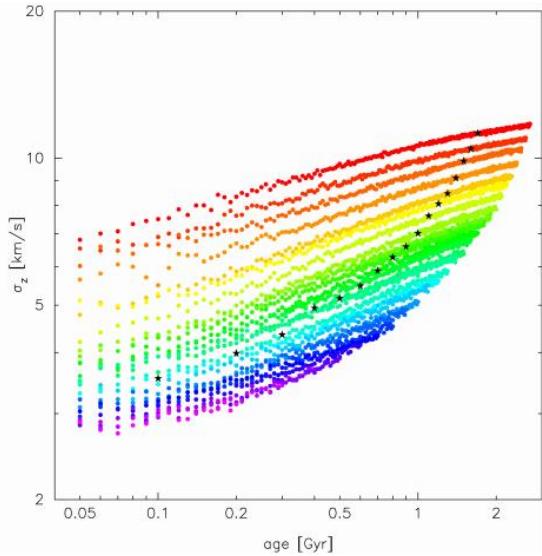
←星形成条件を満たしている
ガスの速度分散の時間進化

ガスから形成される星の速度分散も同様に減衰する。

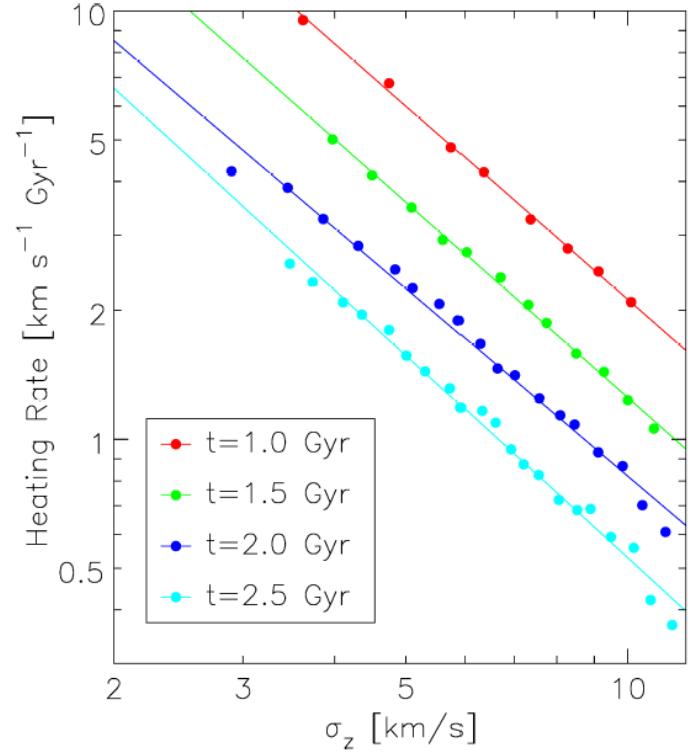
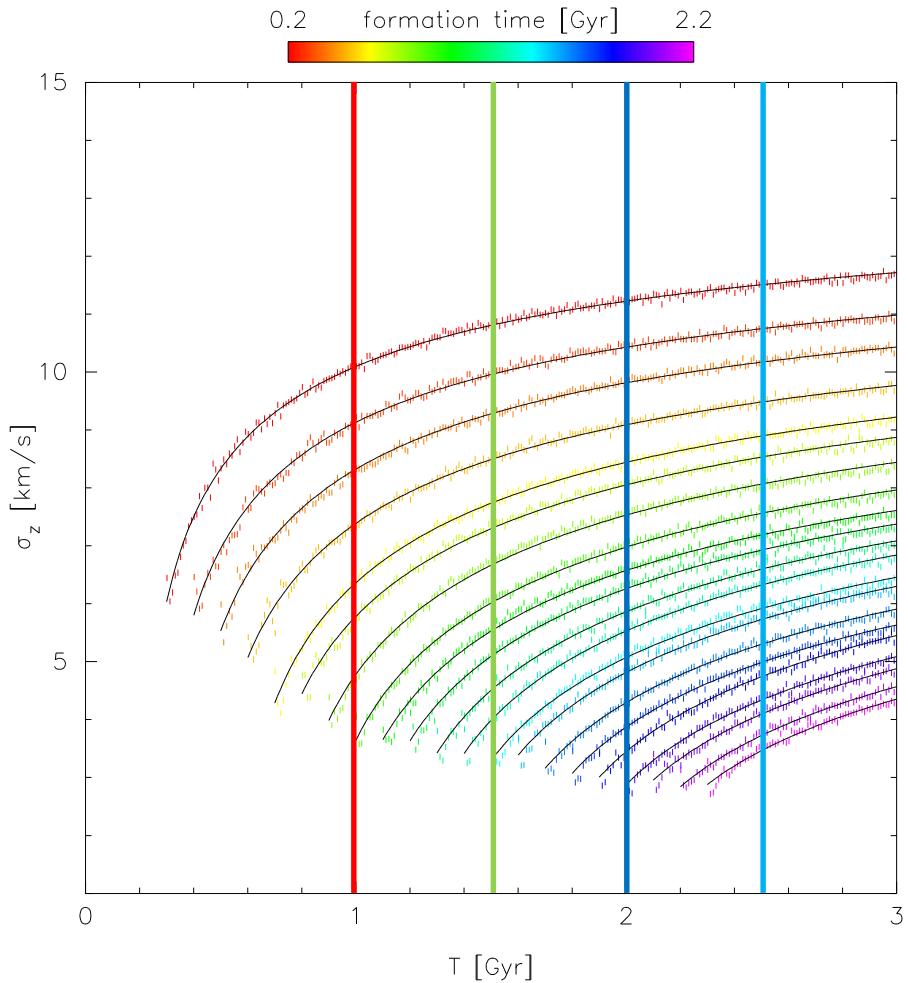
Heating Rate ($d\sigma/dt$)



σ_z の時間進化

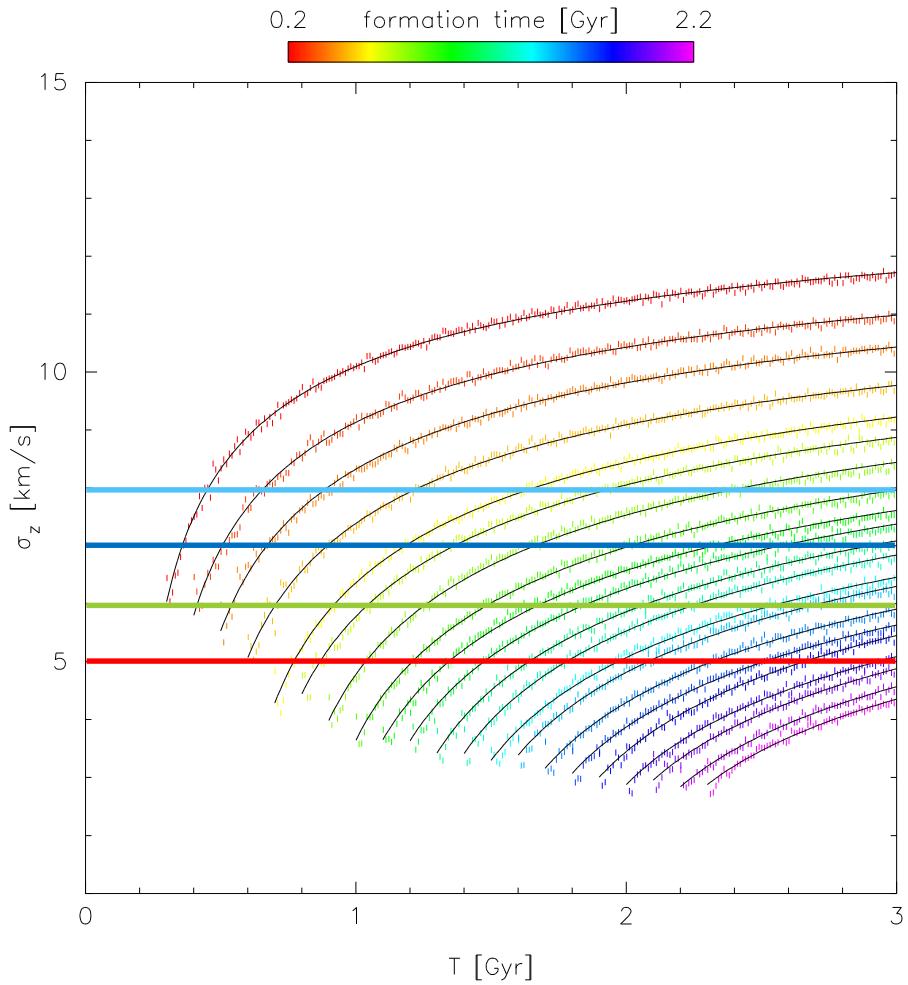


Heating Rate ($d\sigma/dt$)

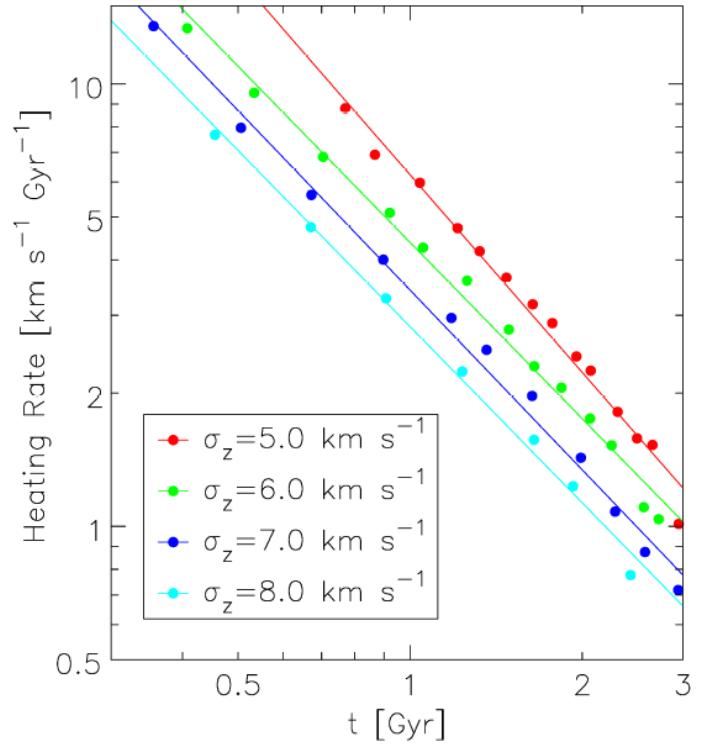


$$\Rightarrow \frac{d\sigma_z}{dt} \propto \sigma_z^{-1.5}$$

Heating Rate ($d\sigma/dt$)

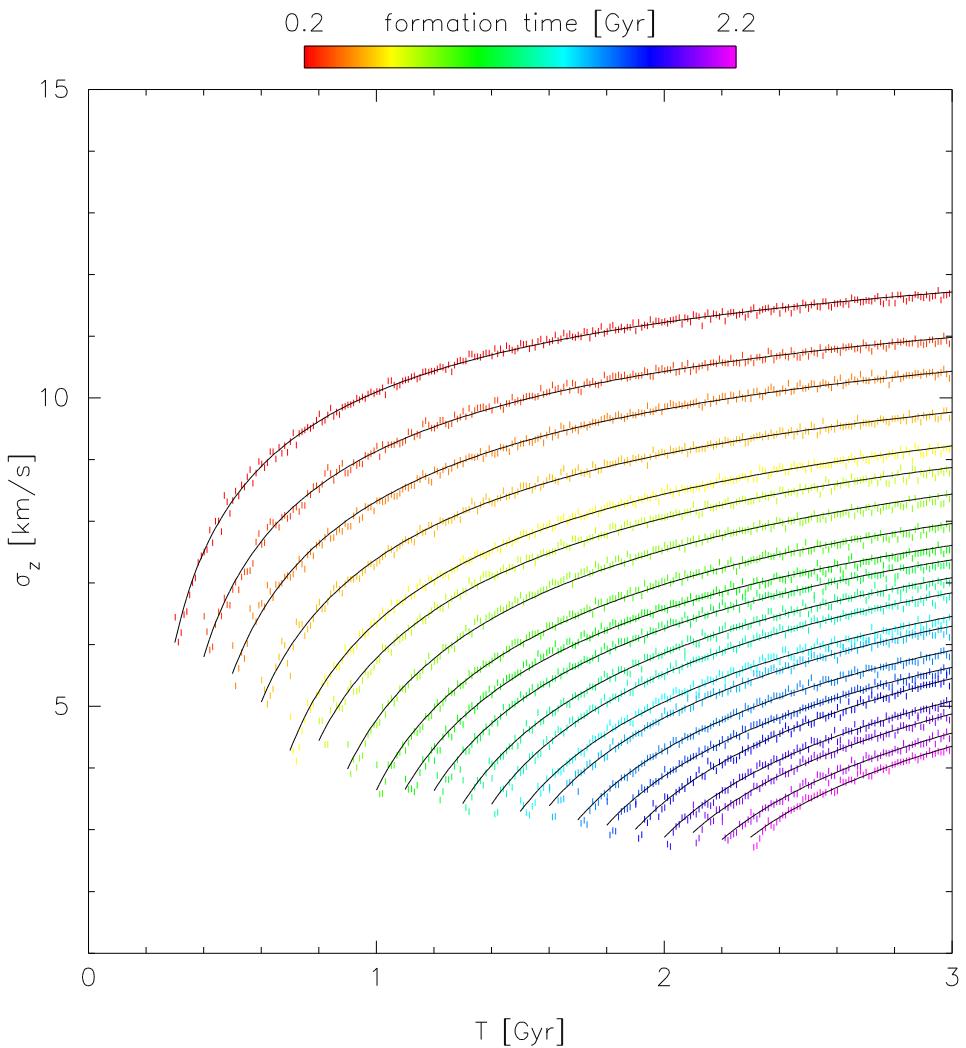


σ_z の時間進化



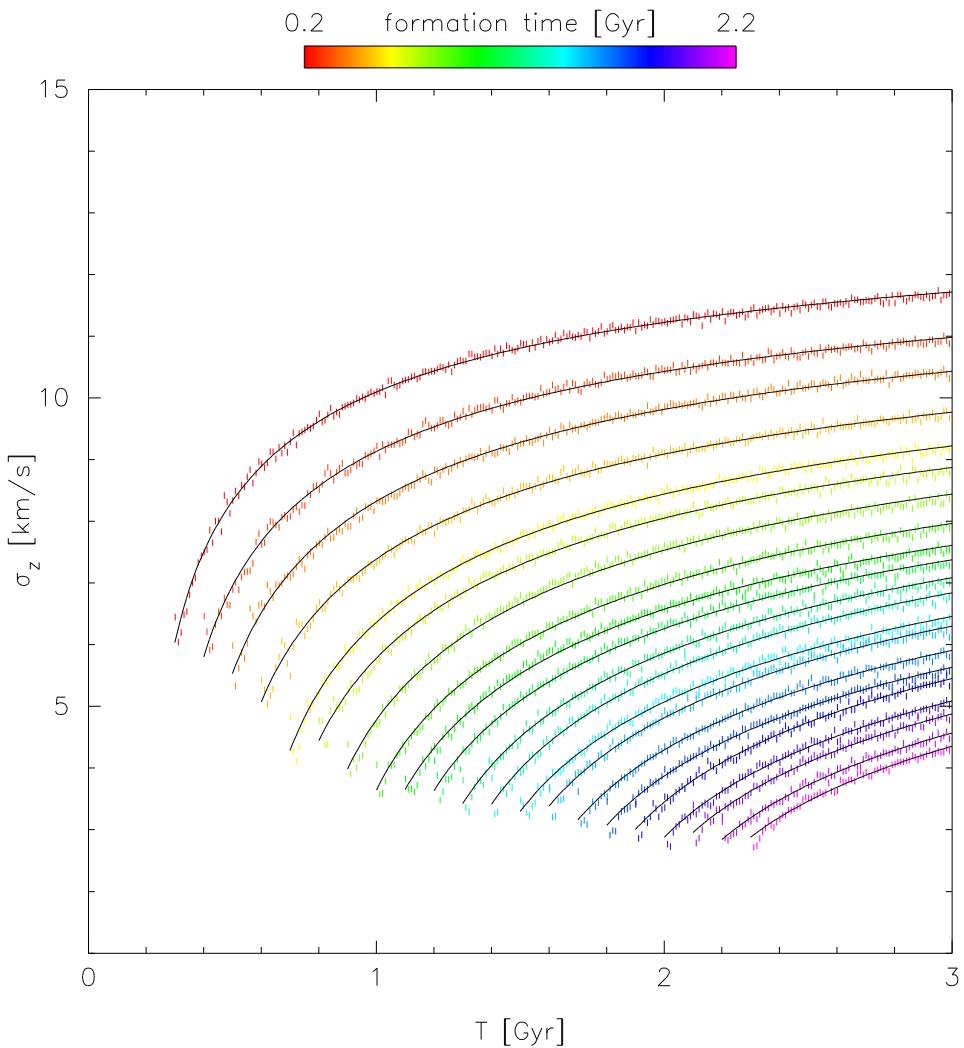
$$\Rightarrow \frac{d\sigma_z}{dt} \propto t^{-1.3}$$

Heating Rate



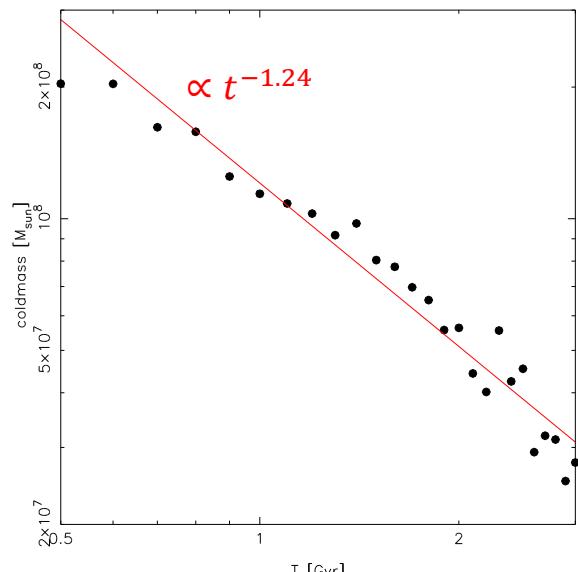
$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z = [A + Bt^{-0.3}]^{0.4} \\ \frac{d\sigma_z}{dt} \propto t^{-1.3} \sigma_z^{-1.5} \end{array} \right.$$

Heating Rate



$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z = [A + Bt^{-0.3}]^{0.4} \\ \frac{d\sigma_z}{dt} \propto t^{-1.3} \sigma_z^{-1.5} \end{array} \right.$$

高密度ガスの減少を反映している？



$M_{\text{gas}}(n>100 \text{ cm}^{-3})$ の時間進化

Summary

AVRと速度分散の時間進化は一致しない



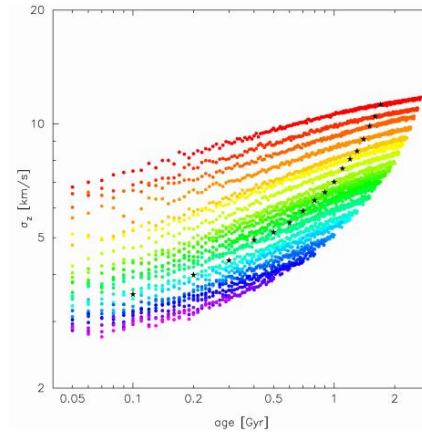
- 初期速度分散
→ ガスの速度分散が影響
- 速度分散の増加率
→ 高密度ガスの量に影響

先に形成された星

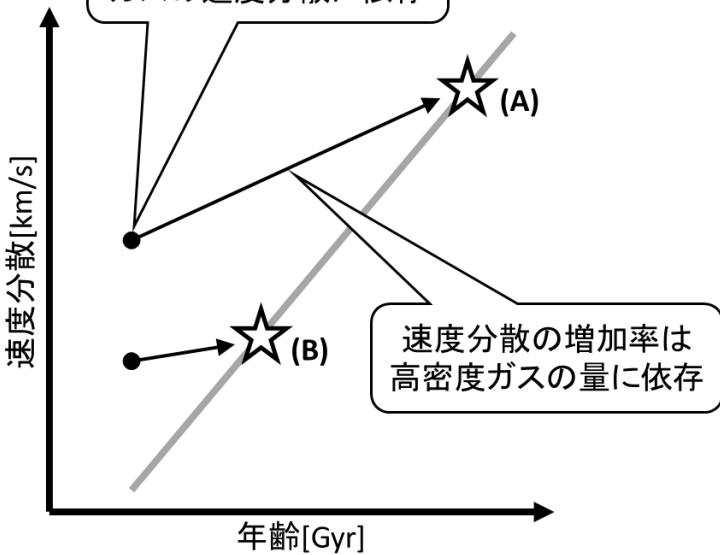
→ 初期速度分散:大 增加率:大

後に形成された星

→ 初期速度分散:小 增加率:小



星形成時の速度分散は
ガスの速度分散に依存



Implication

銀河進化との関連はどうか

ガス降着史は年齢速度分散関係にどう影響するか

—ガス降着史によって年齢速度分散関係のベキが変わる？

→ガス降着史の異なる複数モデルでシミュレーション

観測の年齢速度分散関係はGAIAのデータにより詳細化

⇒観測の年齢速度分散関係からガス降着史への制限を与える

a

Star Formation & Gaseous Evolution

