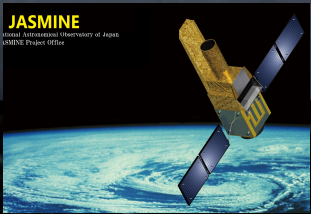


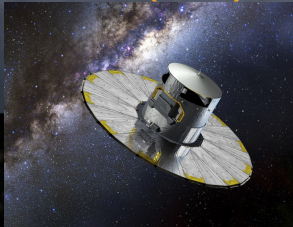
銀河形成・進化 X36a

# Age dating the Galactic Bar with the Nuclear Stellar Disk and BPX bulge

JASMINE (NAOJ)



Gaia (ESA)



ATERUI-II (NAOJ)



*The Gaia's Sky (ESA/DPAC)*

*The "Simulated" Milky Way  
(Baba, Saitoh et al. 2017, MNRAS, 464, 246)*

関連講演

河田氏 Z306r (計算惑星)

郷田氏 V238a (機器光赤)

馬場 淳一

(国立天文台 JASMINEプロジェクト)

河田大介 (MSSL/UCL), Ralph Schoenrich (MSSL/UCL)

# 天の川銀河の 現在の動力学構造は概ねわかってきたが、**形成時期・進化史**は不明

## ✓ バー = 円盤銀河の最も強い非軸対称構造

→ 銀河円盤の大局的な角運動量輸送

= **銀河円盤の“物質混合”過程を支配**

(太陽系の軌道移動にも関連?? Baba in prep.)

**バー形成: Gaia-Enceladus (銀河合体) イベントに  
並ぶ「2大イベント」の一つ**

## ✓ バーの理解の現状と課題:

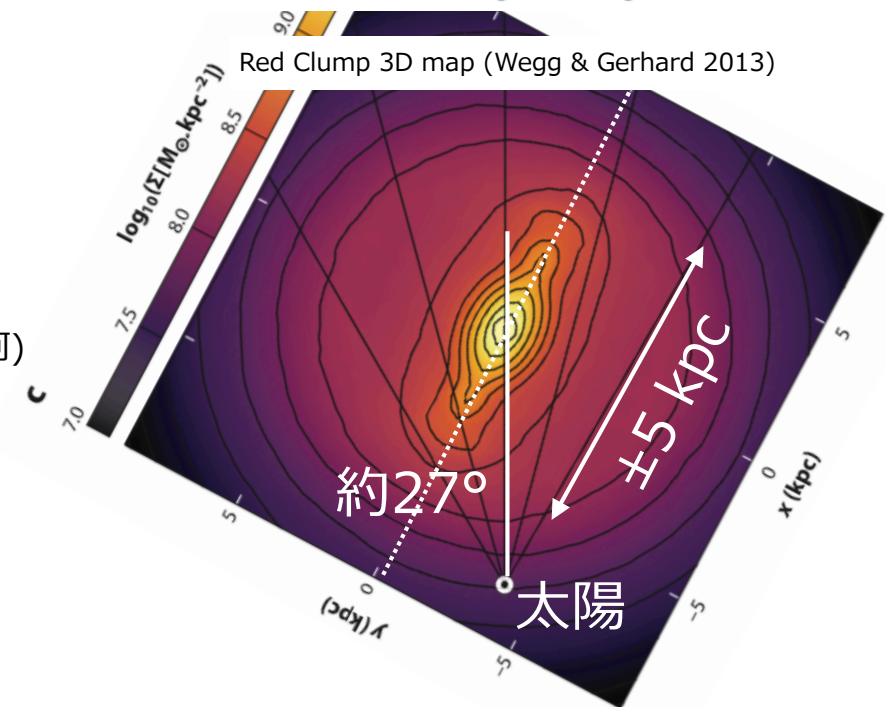
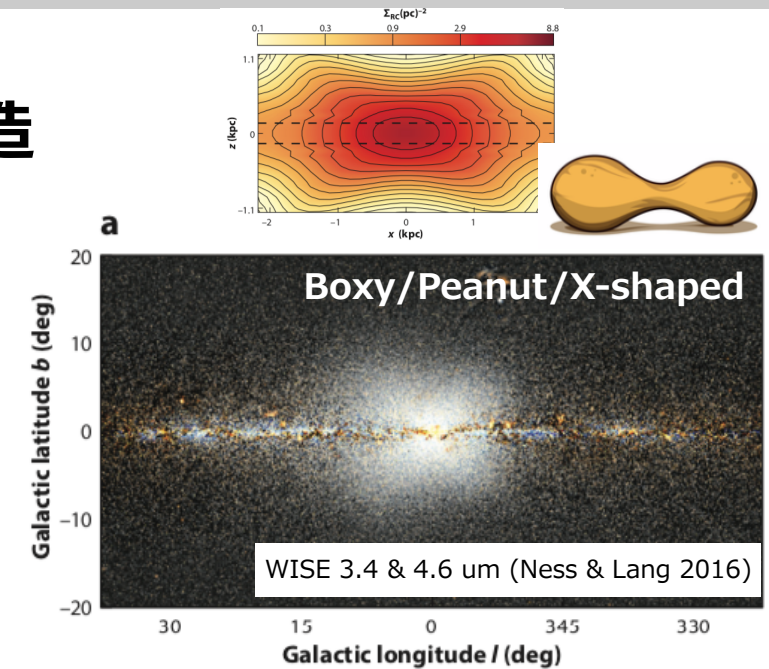
- 形状: 半長径  $\sim 5$  kpc、角度  $\sim 27^\circ$   
Boxy/Peanut/X-形状 (BPX)

- 角速度:  $\sim 40 \pm 5$  km/s/kpc

(Sanders et al. 2019, Bovy et al. 2019;  
Asano, Fujii, **JB** et al. 2020; 朝野氏講演 R20a (銀河)  
Kawata, **JB** et al. arXiv:2012.05890)

- **形成時期**:  $\sim 2-8$  Gyr ago ???

- **進化過程**: 角速度減速率 ???



# バー形成の「観測的痕跡」の理解が必須

**問題点**：バーの力学年齢  $\neq$  バーの星種族年齢 (e.g. Wozniak 2007)

バー形成：銀河円盤の不安定性などの起因する動力学現象

e.g. Sellwood & Wilkinson, 1993, RPPh, **56**, 173

→ 基本的にはあらゆる年齢の円盤星が寄与する

## 課題

バーが形成すると銀河にどういう影響を及ぼすのか？

その影響はどのような観測量にどのような「痕跡」を残すのか？

**本研究**：N-body/SPHシミュレーションを用いてバーの「形成時期」の情報が、天の川銀河の星の運動学情報や星形成史にどのように刻まれるのかを調べた。

特に **中心核ディスク (Nuclear Stellar Disk)** と **BPXバルジ** に着目

(JB & Kawata 2020)

(JB, Kawata, Schoenrich 2021)

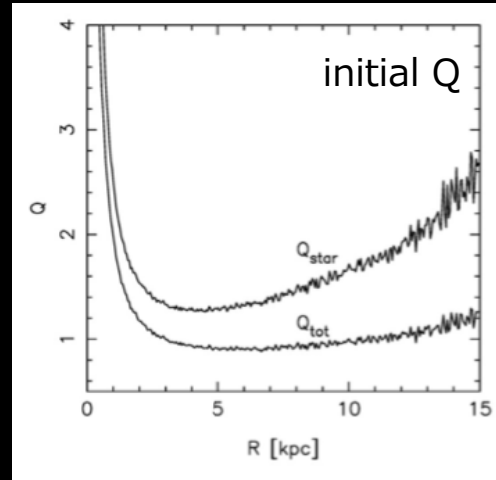
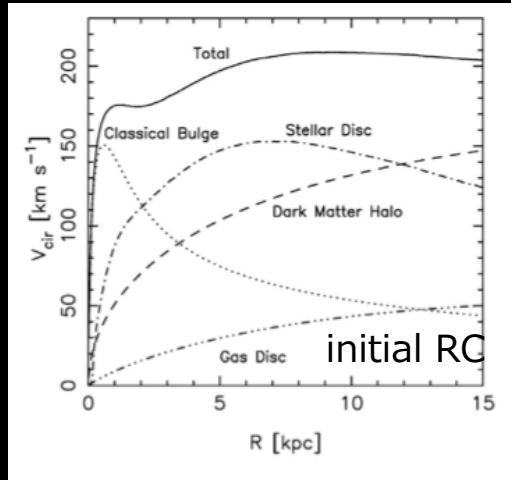


# Milky Way simulations

(Baba 2015; Baba et al. 2017; Baba & Kawata 2020)

## ✓ Isolated Disk Galaxy Model

- DM halo + classical bulge + stellar disk + gas disk
- to analyse well-resolved structures & stellar orbits
- spontaneous bar & spiral formation & buckling stable



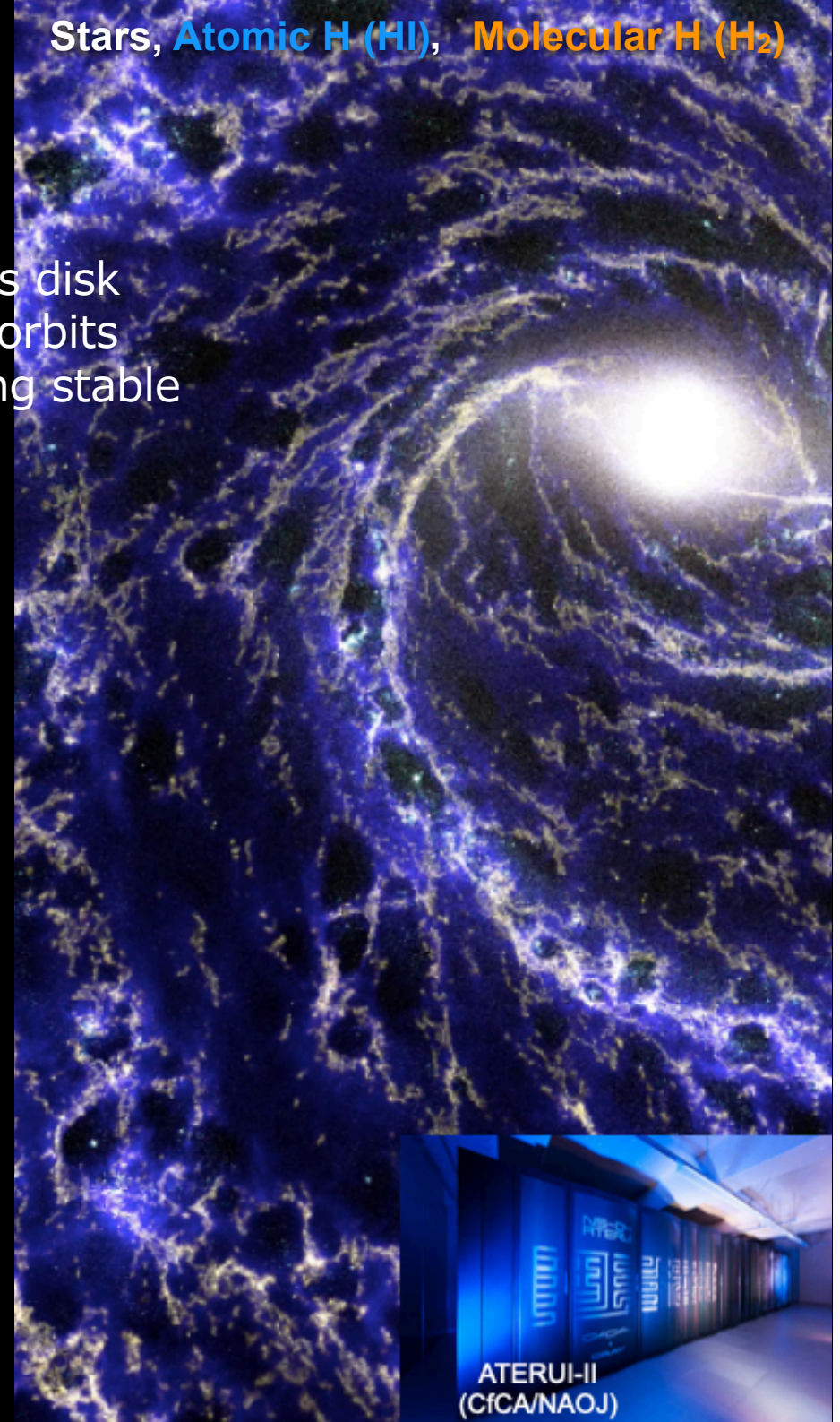
## ✓ ASURA (Saitoh & Makino 2009,2010,2013)

- Self-gravity  $N$ -body /SPH
- Baryon Physics (Saitoh+2008; Baba+2017)
  - Star Formation
  - SNII / HII region
  - Radiative Cooling / FUV Heating

## ✓ Resolutions

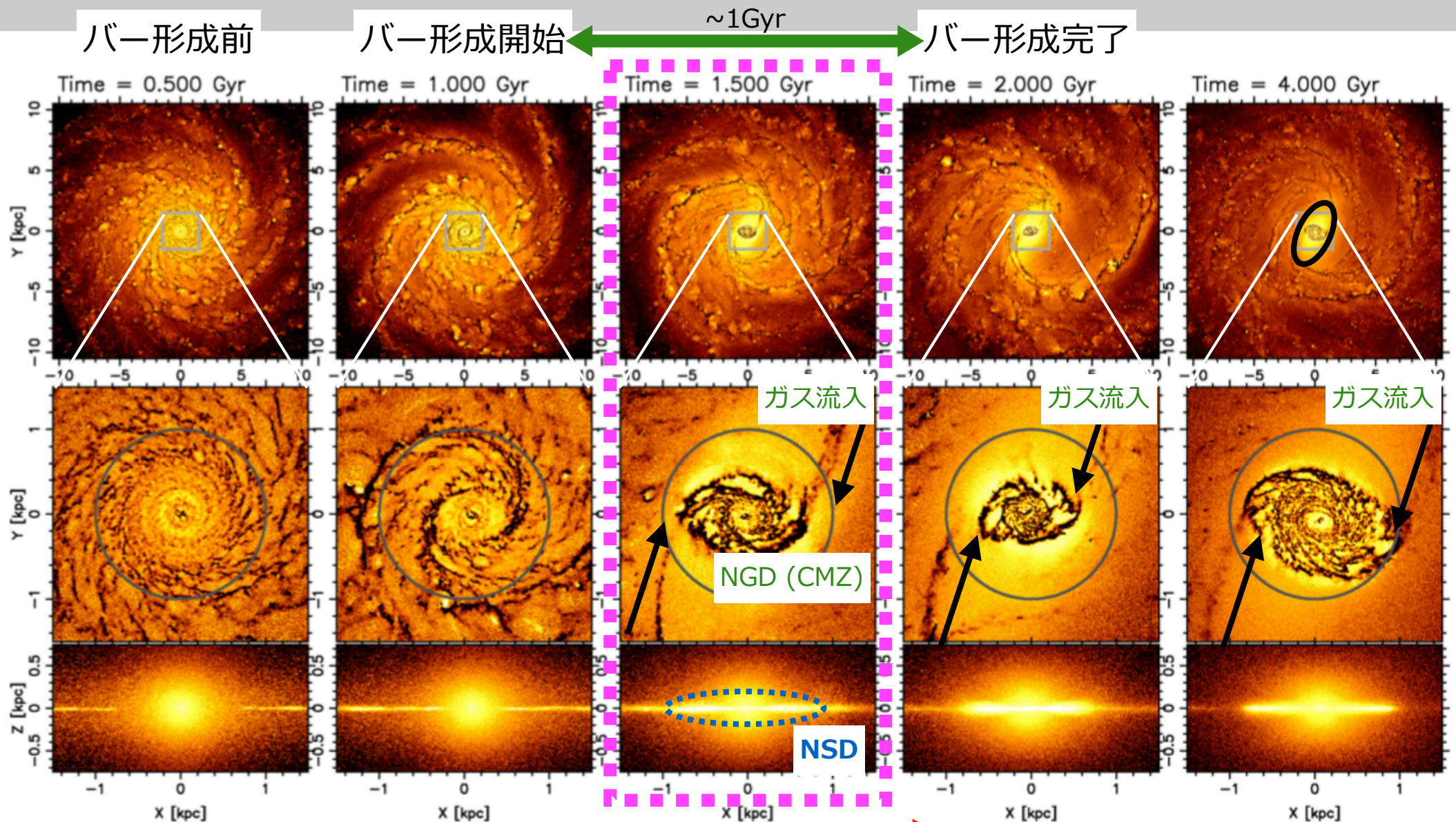
- 10 pc Plummer softening (gravity)
- 5.7million stars + 4.5million SPH

Stars, Atomic H (HI), Molecular H (H<sub>2</sub>)



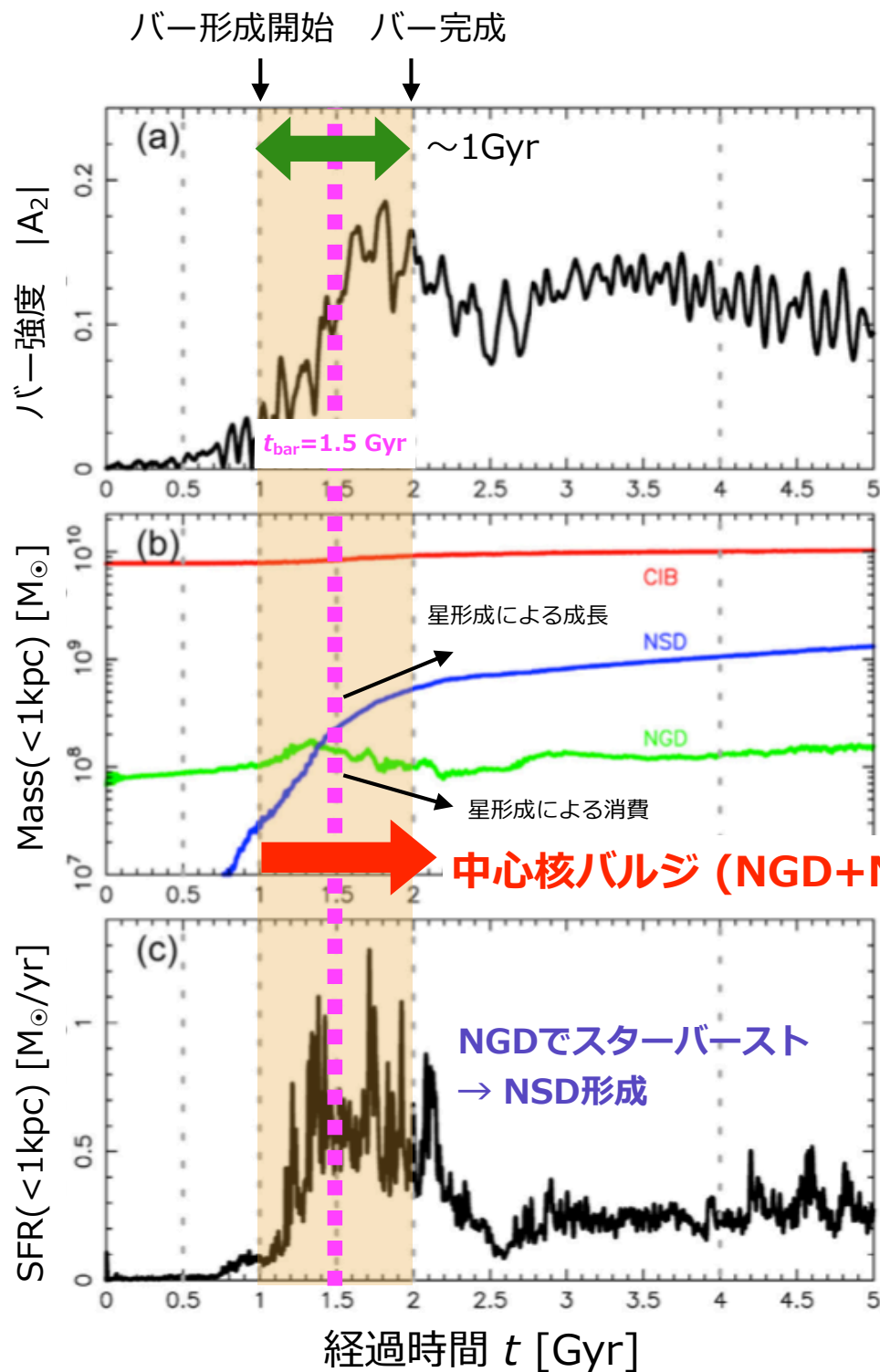


# NSD : バー形成→ガス流入→スターバースト



ガス流入 & starburst

→ 中心核ディスク (NSD) の急成長



- バー形成時間  $< \sim 1 \text{ Gyr}$
- バー形成開始と同時にガスが中心領域に流入  
→ NGD (CMZ) 形成
- 中心領域でスターバースト  
→ NSD形成

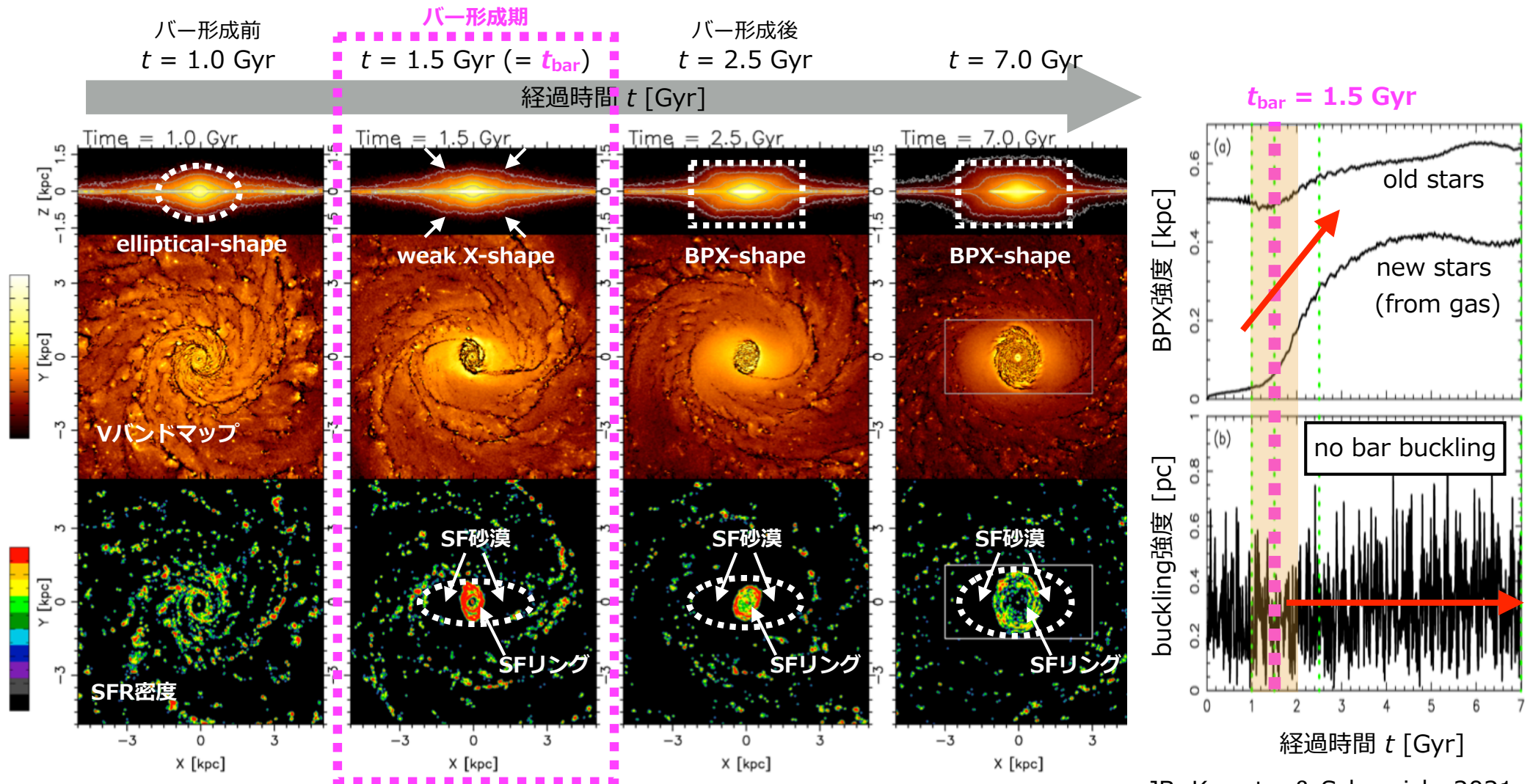
e.g.  
Friedli & Benz (1993,1995),  
Martin & Friedli (1997),  
Athanassoula (2005)

**NSDのSFRピーク時期  
≡ バー形成時期**



# BPXバルジ：バー形成直後から出現

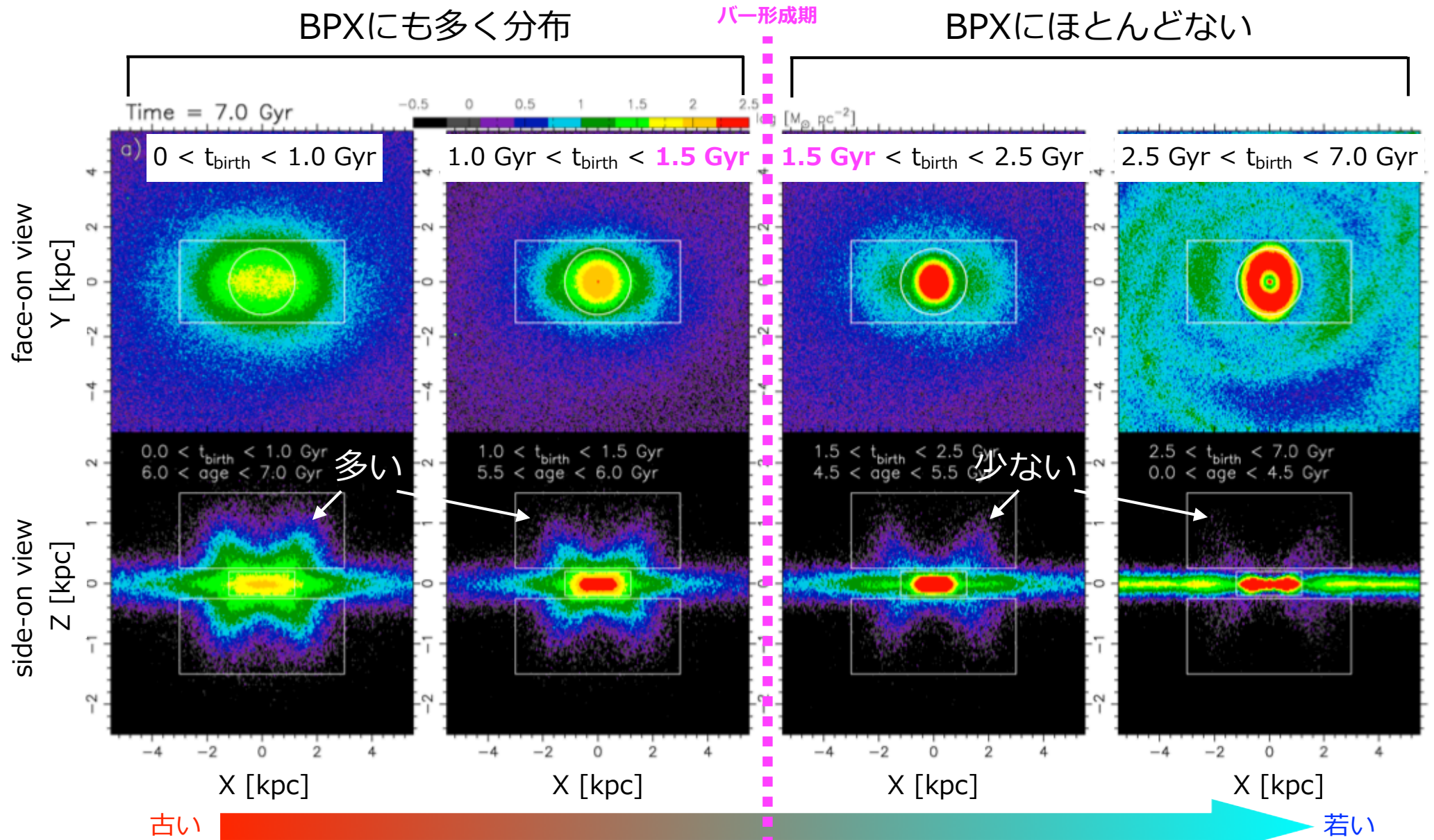
- バー形成“直後”にbar bucklingを経ずにBPXバルジができた ← **速い!**
- 鉛直軌道共鳴で跳ね上がっている (e.g. Combes et al. 1990; Quillen 2002; Quillen et al. 2014)
- 通常、bar bucklingでBPXバルジ形成はバー形成から～2-3Gyr後 (e.g. Debattista et al. 2006)
- 先行研究でもN体/ガス系ではbar bucklingが起こらない (e.g. Berentzen et al. 1998, 2007)



# BPXバブルジ：バー形成期**以前**に誕生した星が選択的に分布

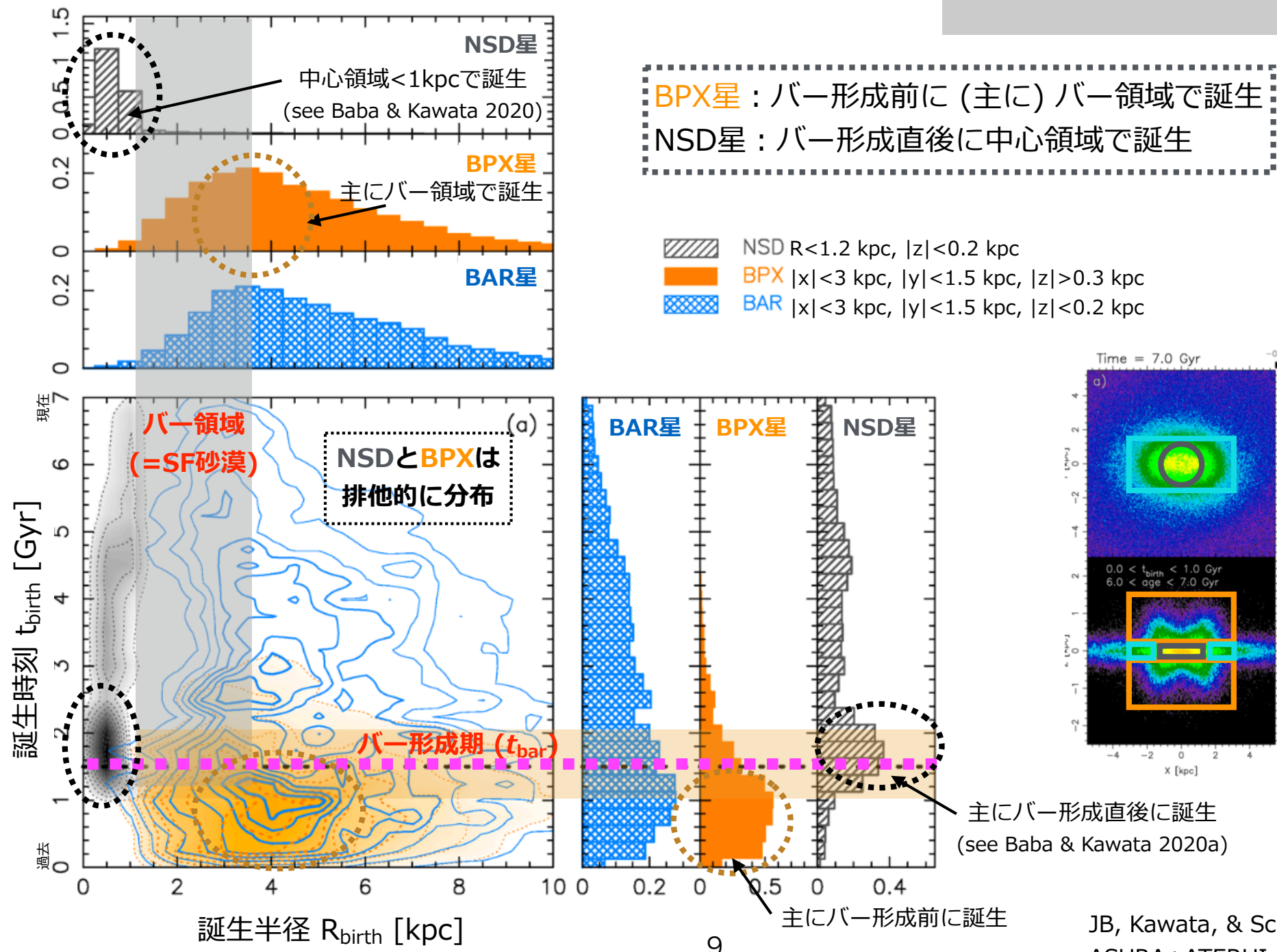
バー形成**前**に誕生した星  
BPXにも多く分布

バー形成**後**に誕生した星  
BPXにほとんどない

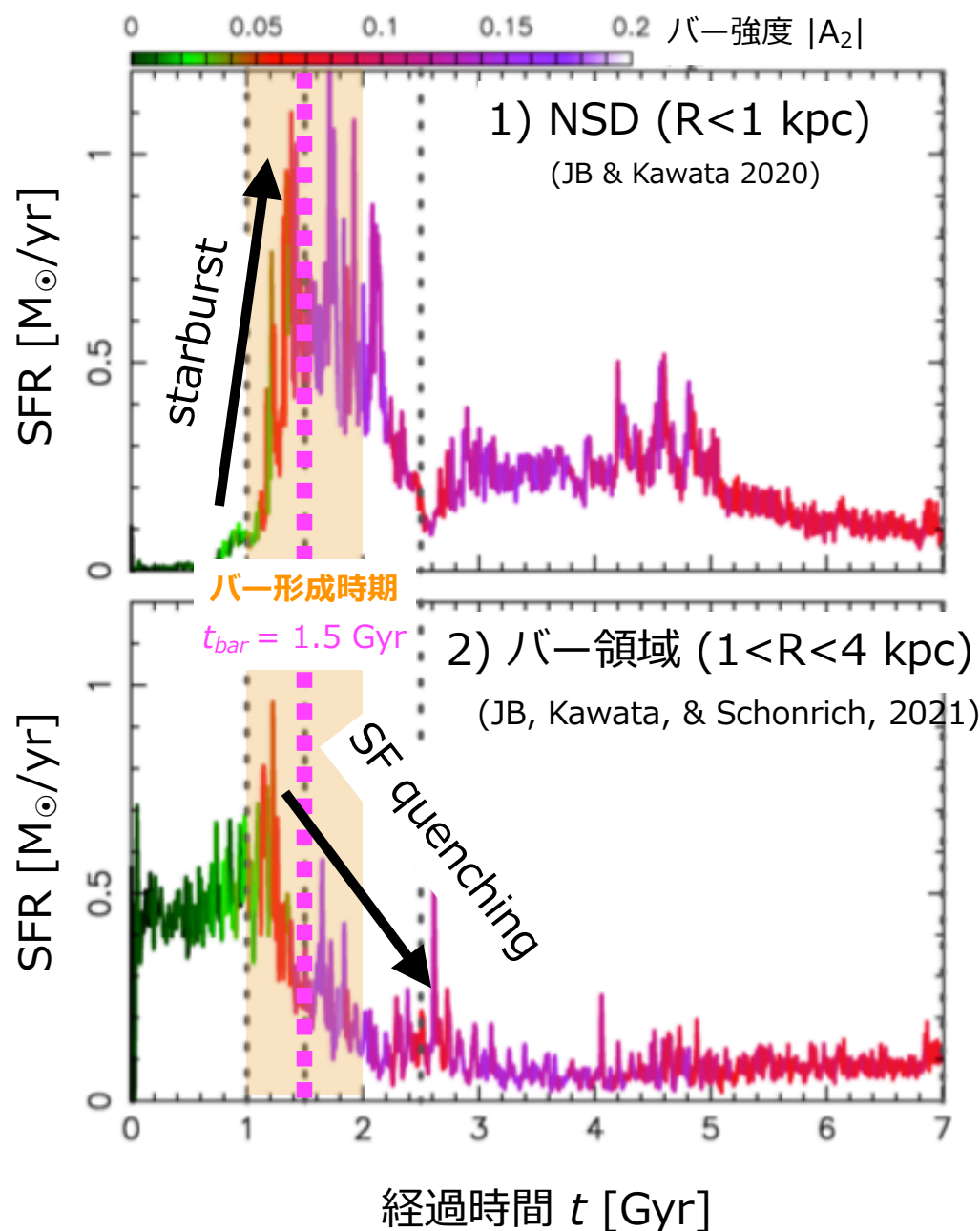




# バー形成による星形成活動の"分画"



# 原因 1 : バー形成後にバー領域の星形成率が急低下 “bar quenching”



see also

Martin & Friedli (1997), Spinoso et al. (2017),  
Khopeskov et al. (2018), Donohoe-Keyes et al. (2019)

バー形成



バー領域のガスを中心に落とす



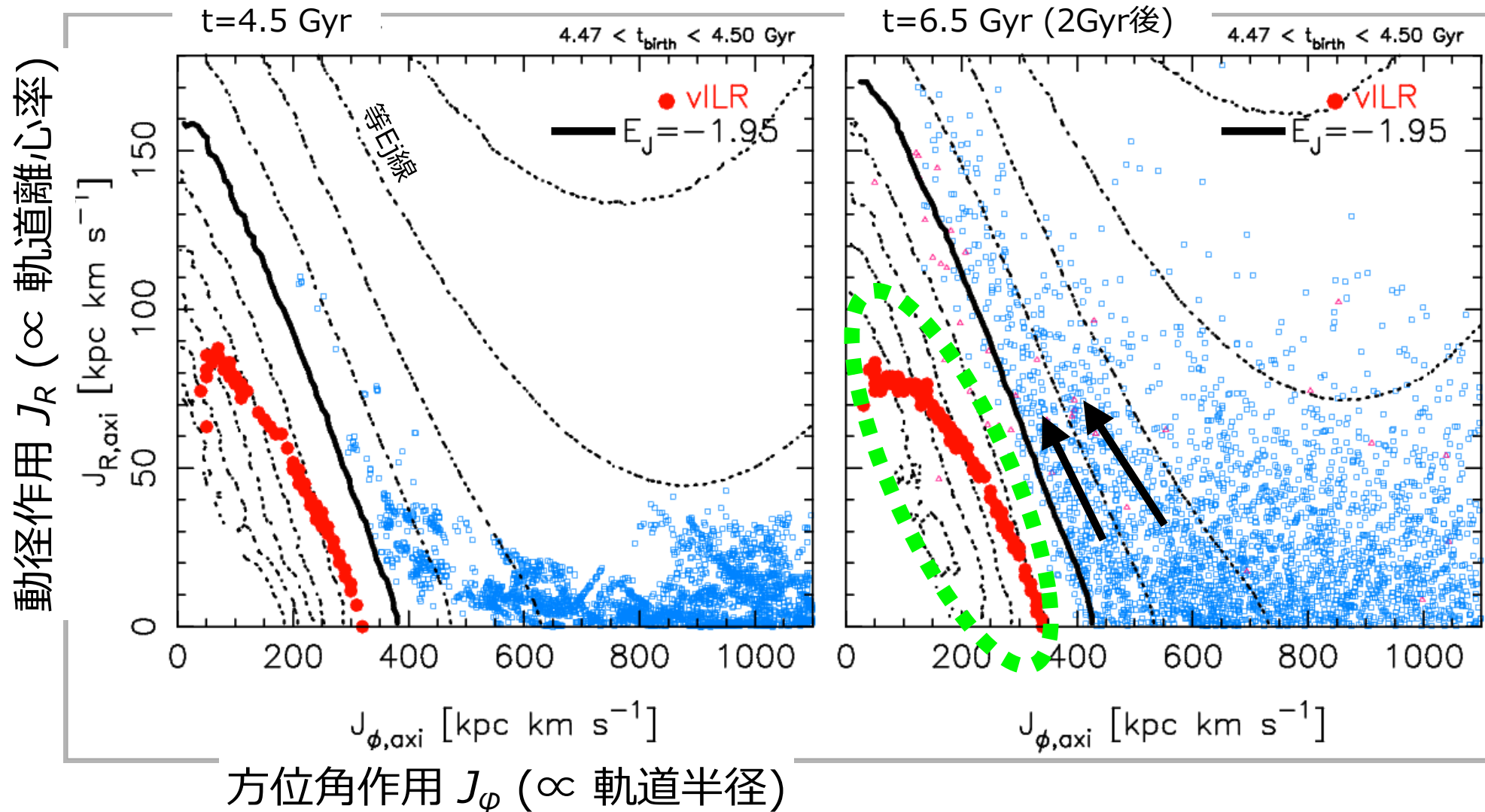
- 1) 中心スターバースト  
→ NSD形成  
= バー形成期/後に誕生した星が  
NSDを占める
- 2) バー領域のSF停止  
→ **BPXに跳ね上がる星の減少**  
→ **バー形成前に誕生した星が  
BPXバルジを占める**



## 原因2：バー形成（動的变化）が鉛直共鳴領域に星を供給

バー形成後に誕生した星の軌道解析： $t_{\text{birth}} (\sim 4.5 \text{ Gyr}) \gg t_{\text{bar}}$

ヤコビエネルギー  $E_J$  をよく保存  $\rightarrow$  vILRに到達できない  $\rightarrow$  BPXに上がれない



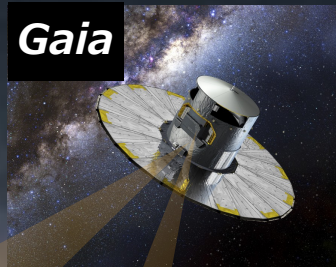
天の川銀河のバーはいつできたのか？



ATERUI-II (NAOJ)

$N$ -body/SPH simの予測：

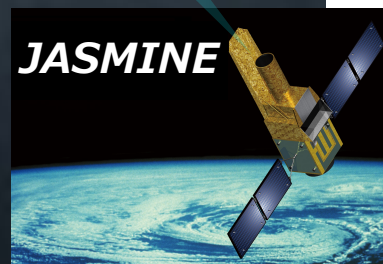
バー形成によるガス分布・星形成活動の変化で**NSD**と**BPX**の星の年齢分布が相補的



Gaia

BPX bulge

NSD

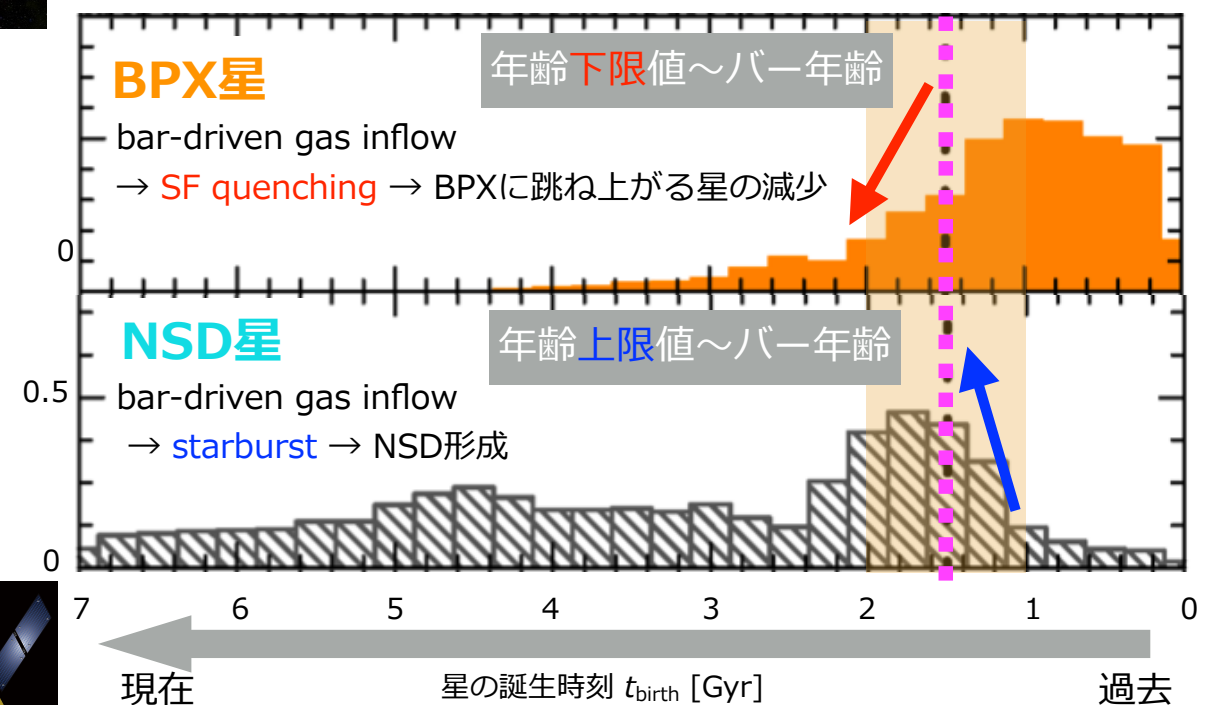


JASMINE

**NSD星とBPX星の年齢分布でバー形成時期を挟み撃ち推定**

バー形成“前”に誕生した星

Baba, Kawata, Schonrich, 2021



バー形成“期/後”に誕生した星

Baba & Kawata 2020

観測した星がどの銀河構造に属するのかを判別するには、  
位置・速度情報 (位置天文観測情報 = Gaia/JASMINE) が必要



