

# Be/X線連星の示す長期活動 サイクルの起源

岡崎敦男（北海学園大学）

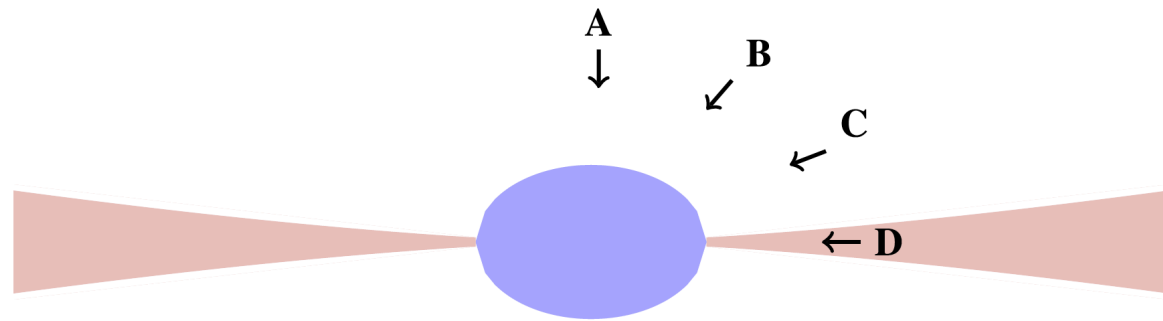
# 目次

1. Be/X線連星と2種類のX線アウトバースト
2. シミュレーションから見えてきた長期活動サイクル（ジャイアントアウトバーストの起源？）
3. （時間が余れば）  
ガンマ線連星PSR 2032+4127のシミュレーション

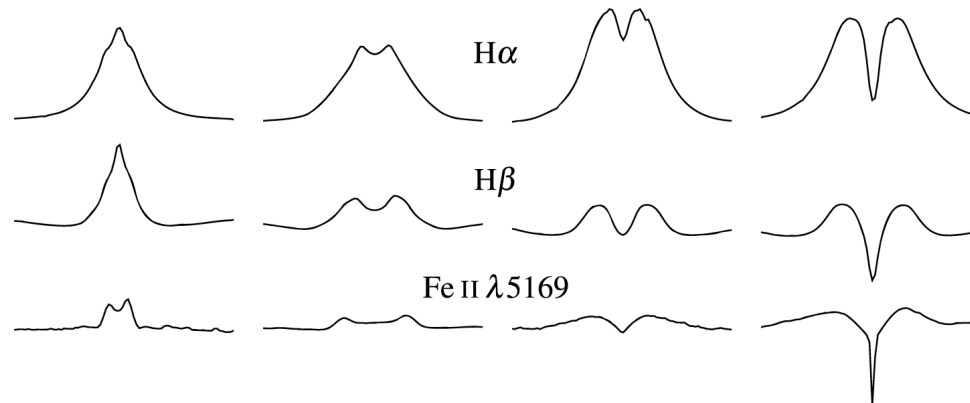
# 1. Be/X線連星と2種類の X線アウトバースト

# Be星

輝線スペクトルを示す大質量星。  
星から放出されたガスが粘性で広がり円盤  
(decretion disk)をつくっている。



A (HR 5223)      B ( $\mu$  Cen)      C (HR 4823)      D (*o* Aqr)



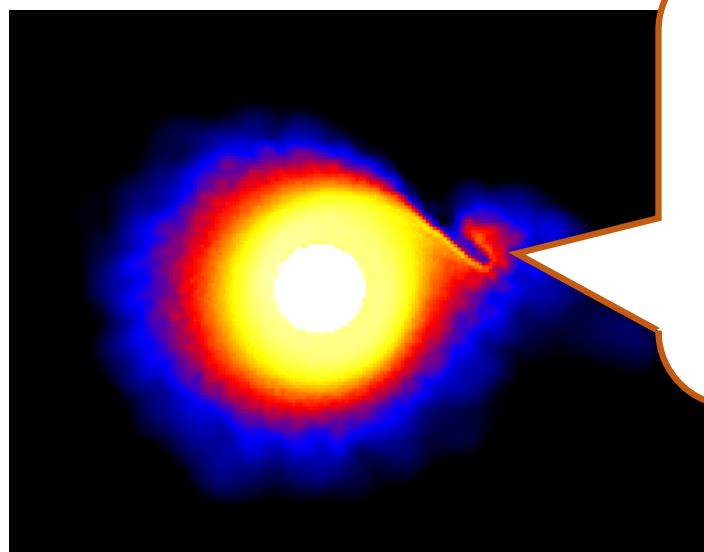
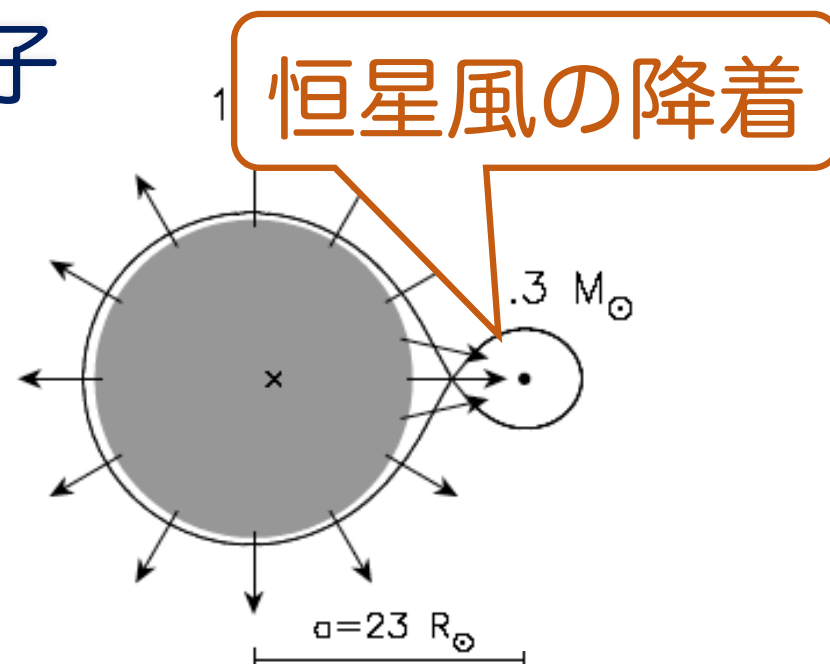
(Rivinius+ 2013)

# 大質量X線連星 (High Mass X-ray Binaries)

大質量星( $>10M_{\odot}$ )と中性子星かBHの連星

➤ 超巨星X線連星(~50%)

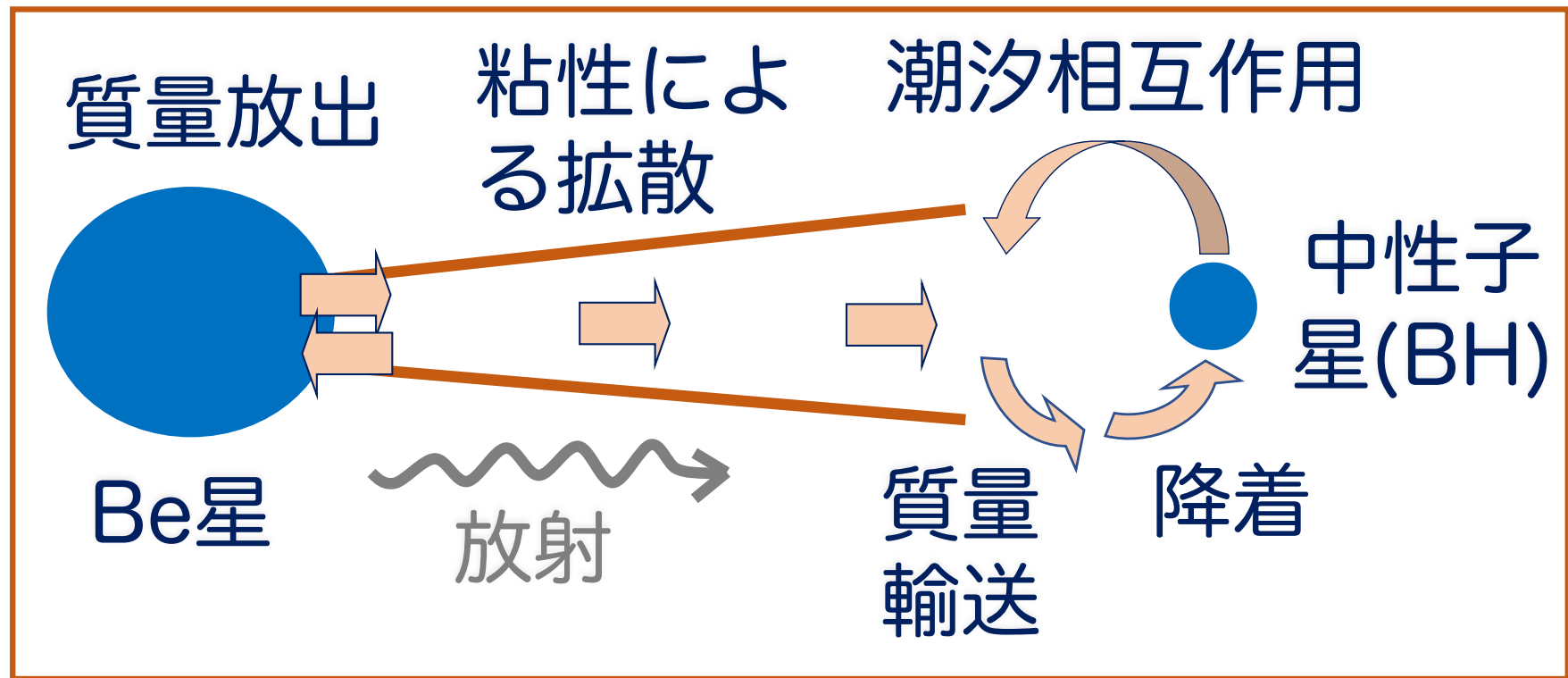
➤ Be/X線連星 (~50%)



離心軌道の中  
性子星が  
Be星ガス円  
盤から降着

# Be/X線連星における基本的な相互作用

- 円盤は星から放出されたガスでつくられる
- X線で見られる活動は潮汐相互作用、中心星からの放射、降着機構に支配される



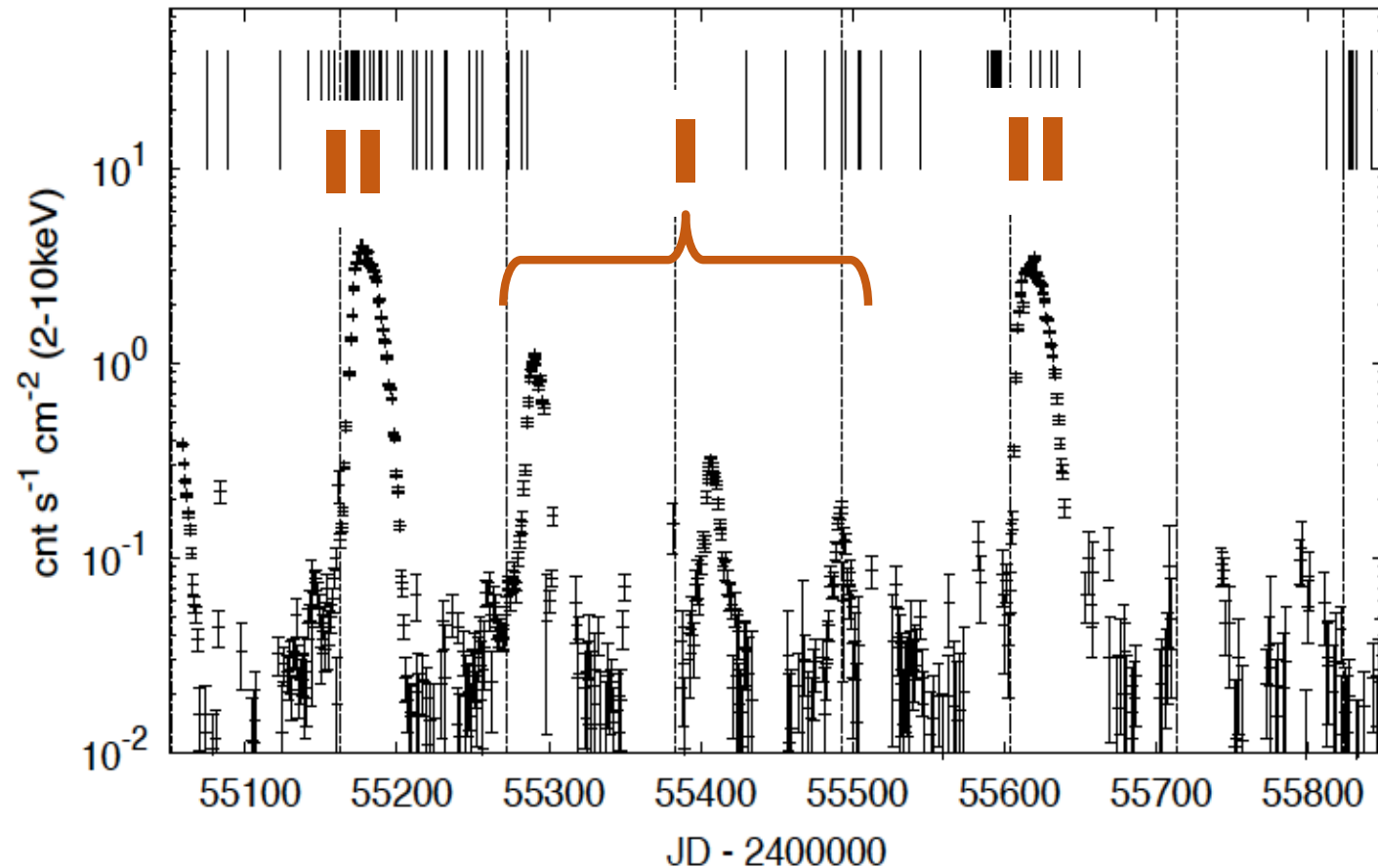
# Be/X線連星の示す2種類のX線アウトバースト

- Normal (Type I) outbursts
  - $L_X \sim 10^{36-37} \text{ erg s}^{-1}$
  - 軌道周期 $P_{\text{orb}}$ の間隔で繰り返す
  - しばしば巨大(II型)アウトバーストに伴って起こる
- Giant (Type II) outbursts
  - $L_X \gtrsim 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$
  - まれな現象。準周期的に起こる系あり。
  - その前後数周期にわたってnormal outburstsを伴うことが多い。
  - Be星ガス円盤が強く変形している

Be/X線連星  
の最大の謎

# Giant outbursts vs. normal outbursts

A 0535+262 ( $P_{\text{orb}}=110\text{d}$ ,  $e=0.47$ )

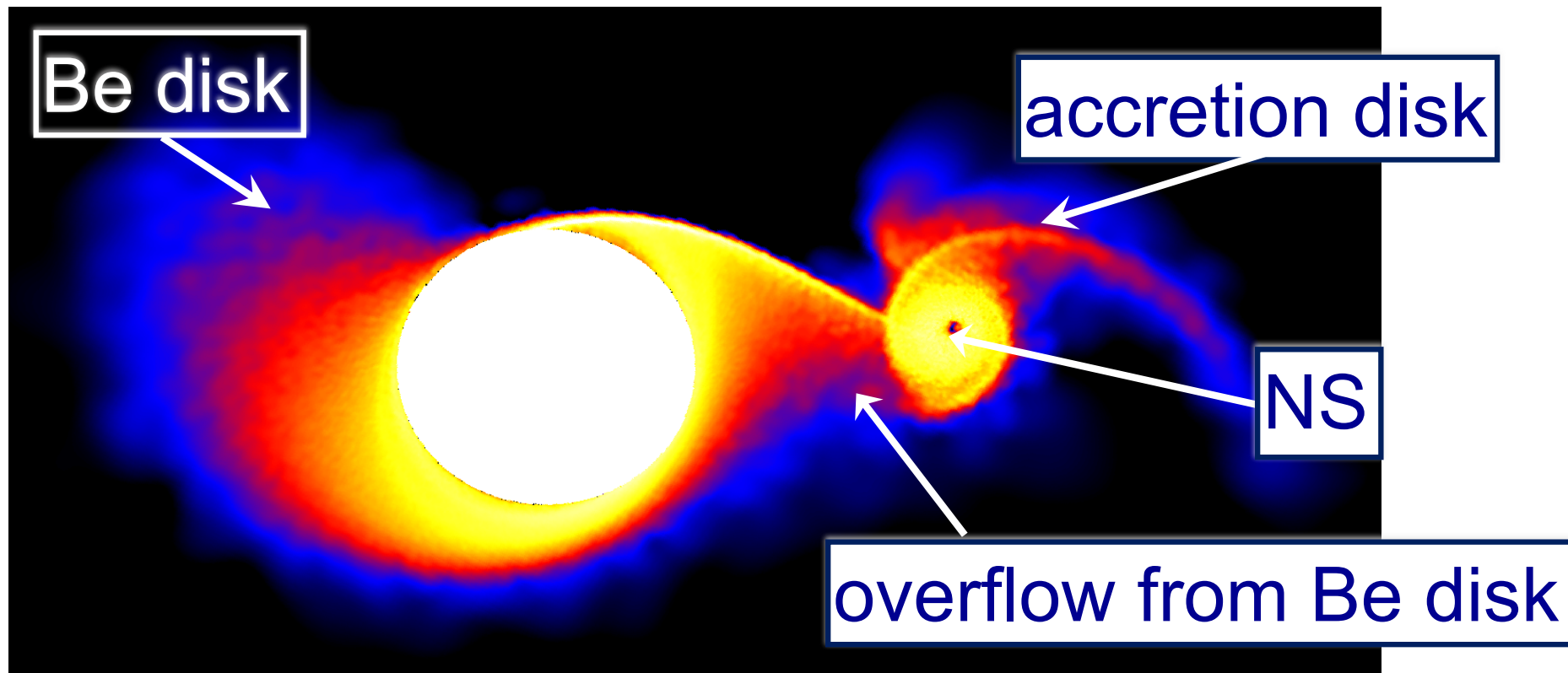


(Moritani+ 2013)



## Normal outburstを起こす仕組み

近星点付近でのtidally truncated diskからの降着



## Giant outburstを起こす仕組み (候補1)

- 傾きワープしているBe星ガス円盤の歳差運動 (Moritani+ 2013)
  - Be星の放射によるトルクで歳差運動
    - ⇒ 連星の公転と同方向に進む
  - 伴星の潮汐トルクによる歳差運動
    - ⇒ 連星の公転と逆方向に進む

しかし、Be星からガスが放出され続けていると、それによるトルクが円盤をBe星赤道面に沿った方向に固定しようとするので、歳差運動が起こるかどうか明らかでない。

## Giant outburstを起こす仕組み (候補2)

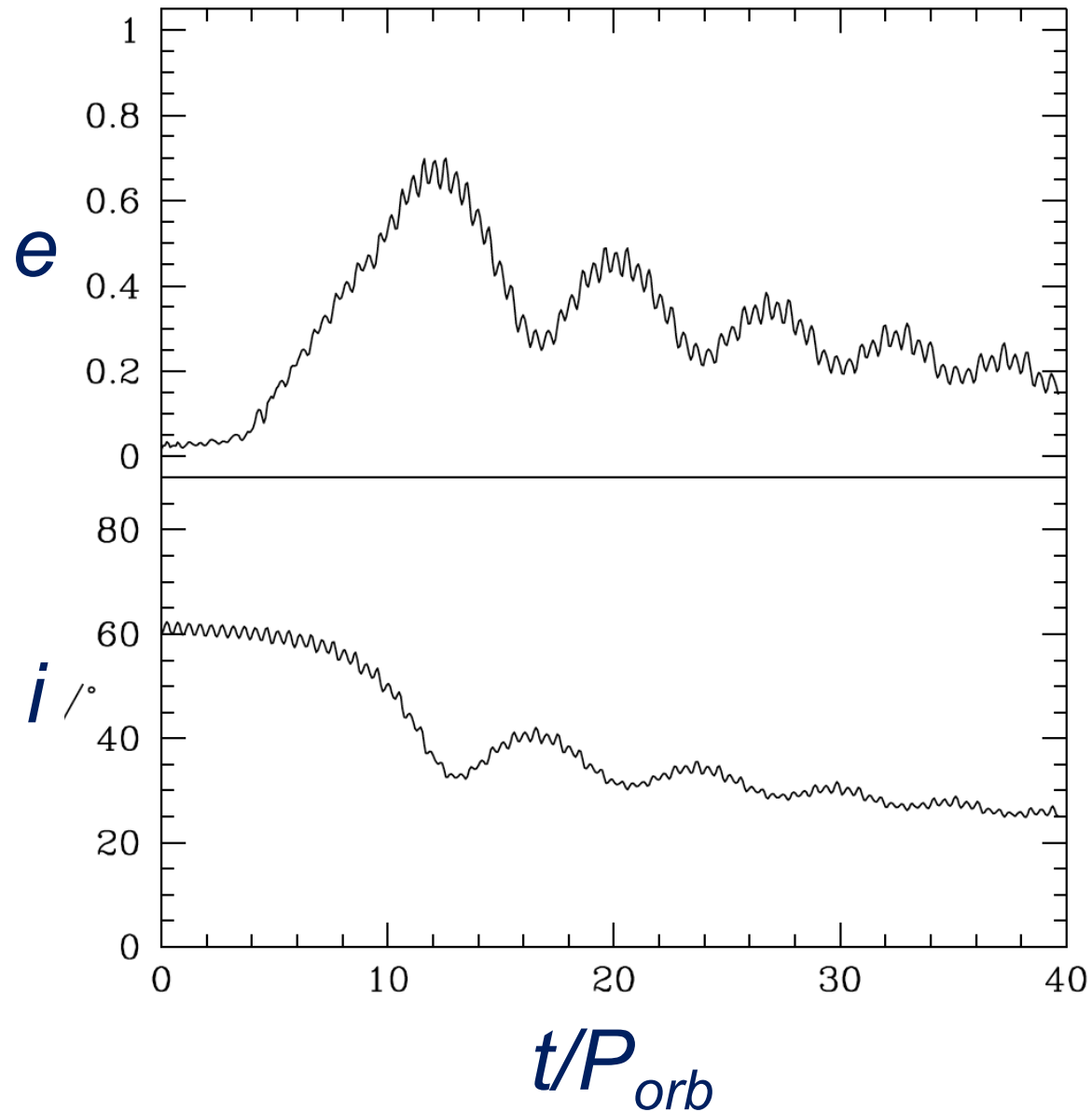
- Kozai-Lidov機構によるBe星ガス円盤の振動

大きく傾いた軌道を持つ粒子やガス円盤 (約40度以上) では、傾きと離心率が交換するように変動する。 (Kozai 1962; Lidov 1962; Martin+ 2014):

⇒ しかし、粘性のあるガス円盤では、KL振動は減衰振動 (Martin+ 2014; Fu+ 2015)

⇒ 繰り返すgiant outburstsをどう説明する？

# ガス円盤のKL振動は減衰振動



(Martin+ 2014)

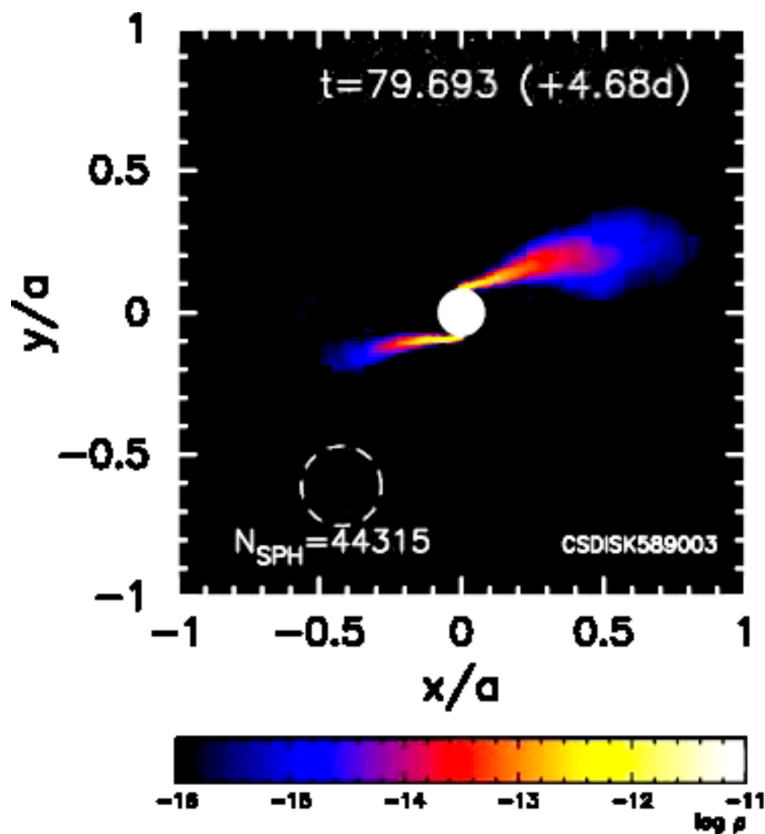
2. シミュレーションから見えてきた  
長期活動サイクル（ジャイアント  
アウトバーストの起源？）

# 数値計算方法

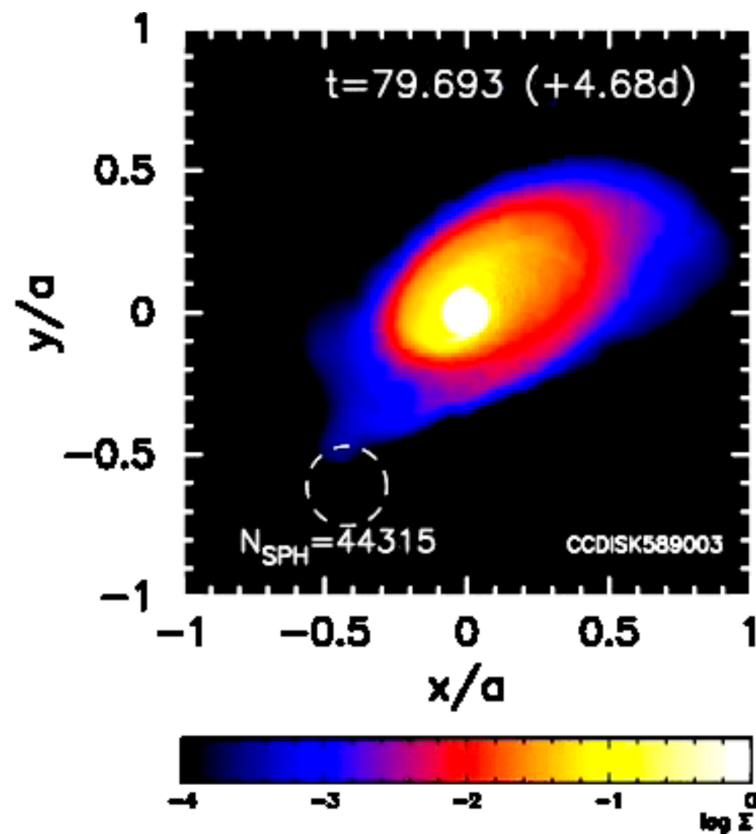
- 3次元SPH法
- 人工粘性により、円盤中のシア一粘性のパラメータが0.1になるように近似
- Be星の回転軸が連星軌道の公転軸から大きく傾いている状況を考える
- Be星は赤道面に沿ってケプラー速度で回転するガスを放出する
- ガス円盤は等温

# 4U 0115+634 ( $P_{\text{orb}}=24.3\text{d}$ , $e=0.34$ , $i=60^\circ$ )

傾いた円盤の進化サイクル：円盤がちぎれ、歳差運動し、新しい円盤が生まれ成長する



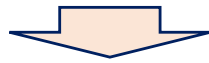
軌道面内の密度



公転軸方向の面密度

# Giant outburstにいたる2つの道筋？

低～中離心率の系



円盤成長後、KL機構により楕円円盤へ



Be星ガス円盤の歳差運動



準規則的なX線活動



次のサイクル

高離心率の系



円盤成長後、質量放出の一時的な減少



Be星ガス円盤の歳差運動



不規則なX線活動



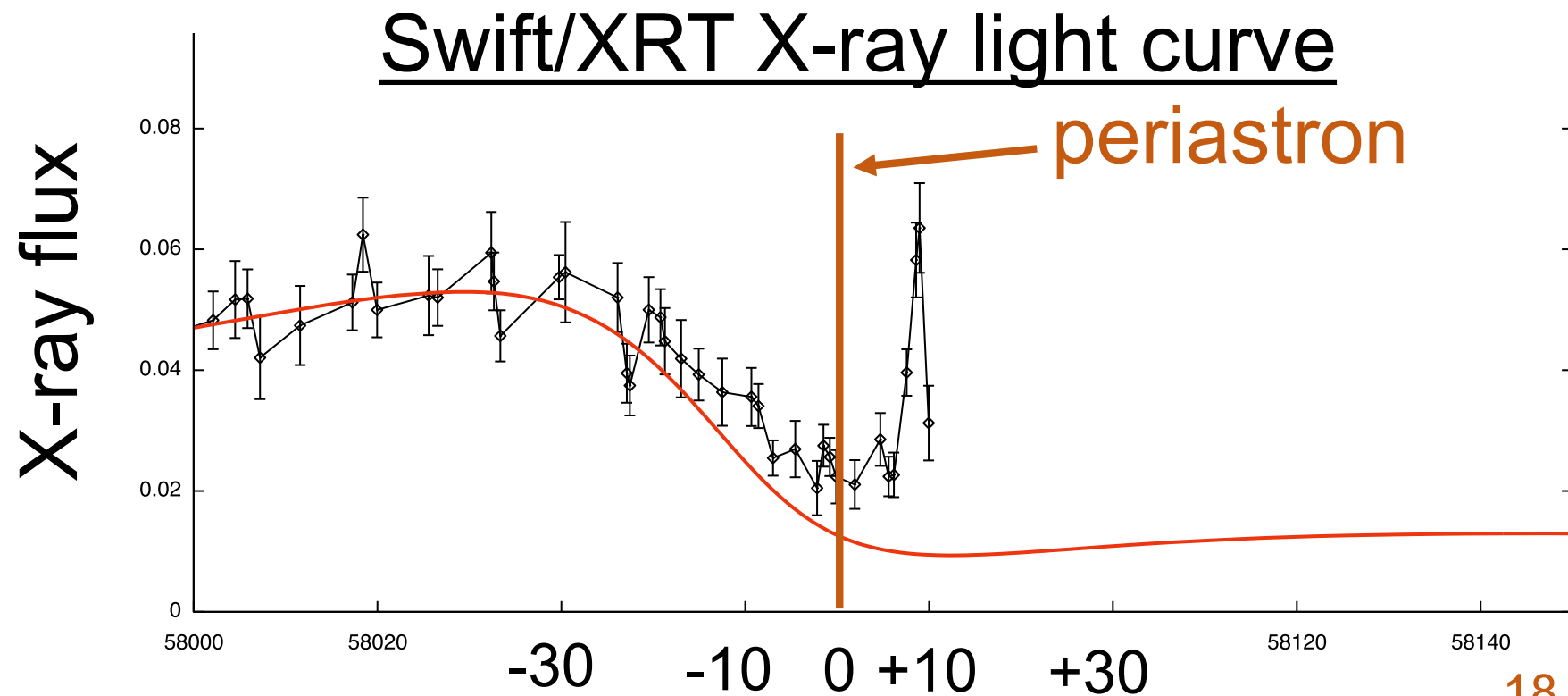
次のサイクルまたは  
円盤消滅



### 3. ガンマ線連星PSR 2032+4127の シミュレーション

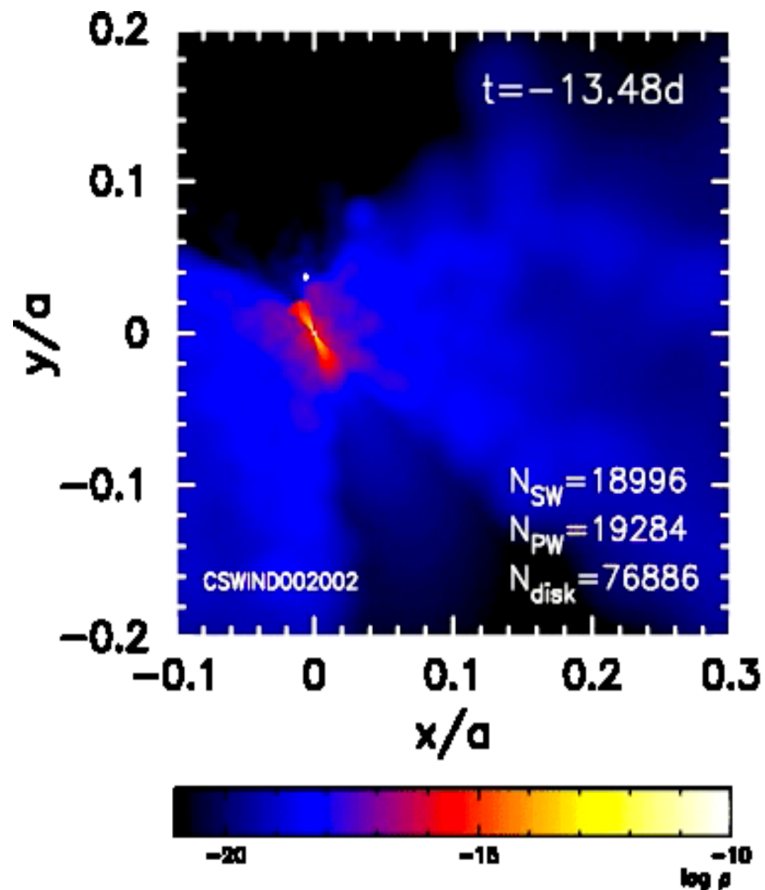
# Gamma-ray binary PSR 2032+4127

- $P_{\text{orb}} = 48 \text{ yr}$
- $e = 0.978$
- Periastron passage: 2017 November 13



# Simulations of PSR 2032+4127 (low resolution yet)

## Density in the orbital plane



## X-rays flux from PW-SW collision shocks

