



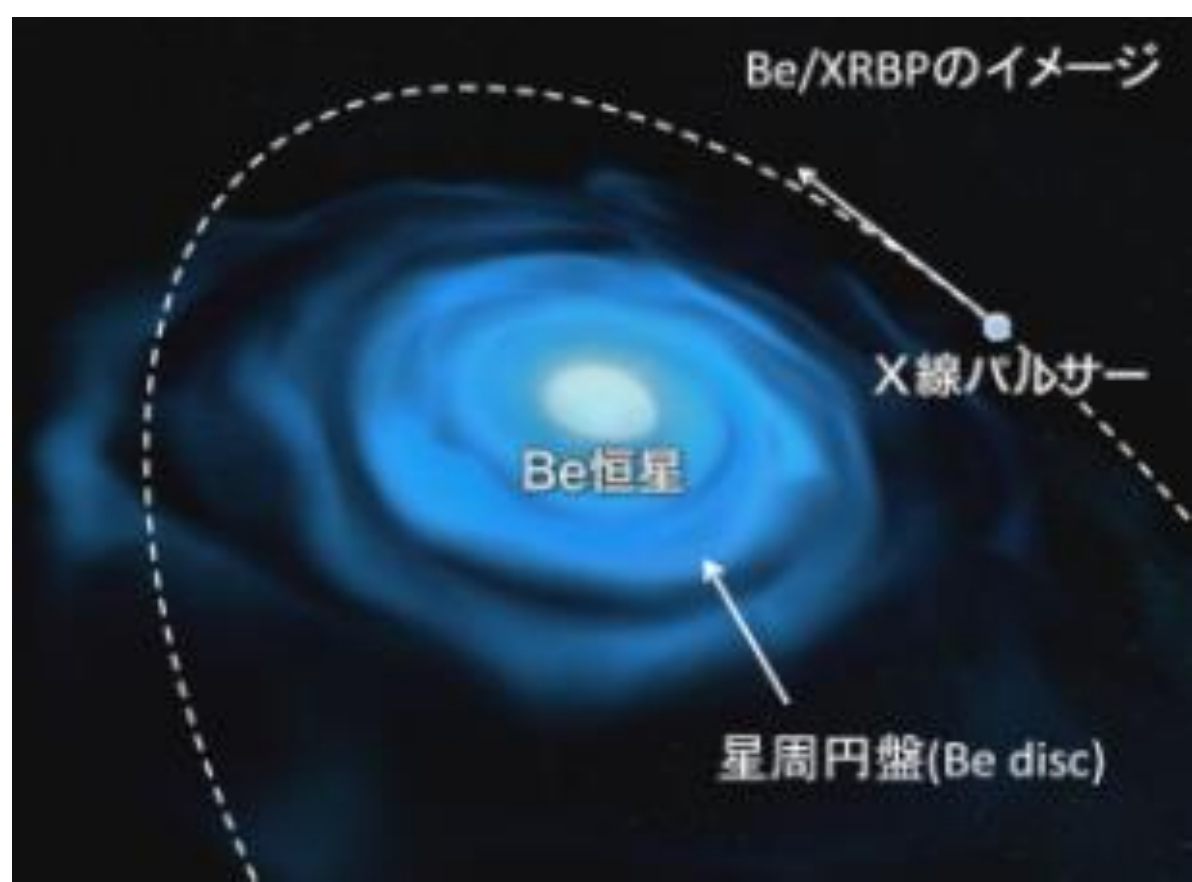
MAXIによるBe/X線連星パルサーのアウトバーストの観測

中島基樹、根来均(日本大学)、三原建弘、杉崎睦、芹野素子、高木利紘、牧島一夫、松岡勝(理研)、河合誠之(東工大)、E. Laplace、A. Santangelo (Univ. of Tübingen)、他MAXIチーム

0. 概要

2009年8月より運用を始めた全天X線監視装置MAXIは、7年間のモニタ観測で100を超えるX線アウトバーストを十数個のBe/X線連星パルサーから検出してきた。これらの増光はノバサーチシステム(Negoro+2016)によりいち早く検出され、全世界に向けて速報を行ってきた。いくつかのX線アウトバースト(OB)はBe星周囲の星周円盤(Be disk)の歳差運動や古在機構に起因した特異な周期性を示す可能性があることを明らかにしたほか、OBの増光率とピークX線光度の間の相関関係についても明らかにした。

1. Be/X線連星(BeXRB)



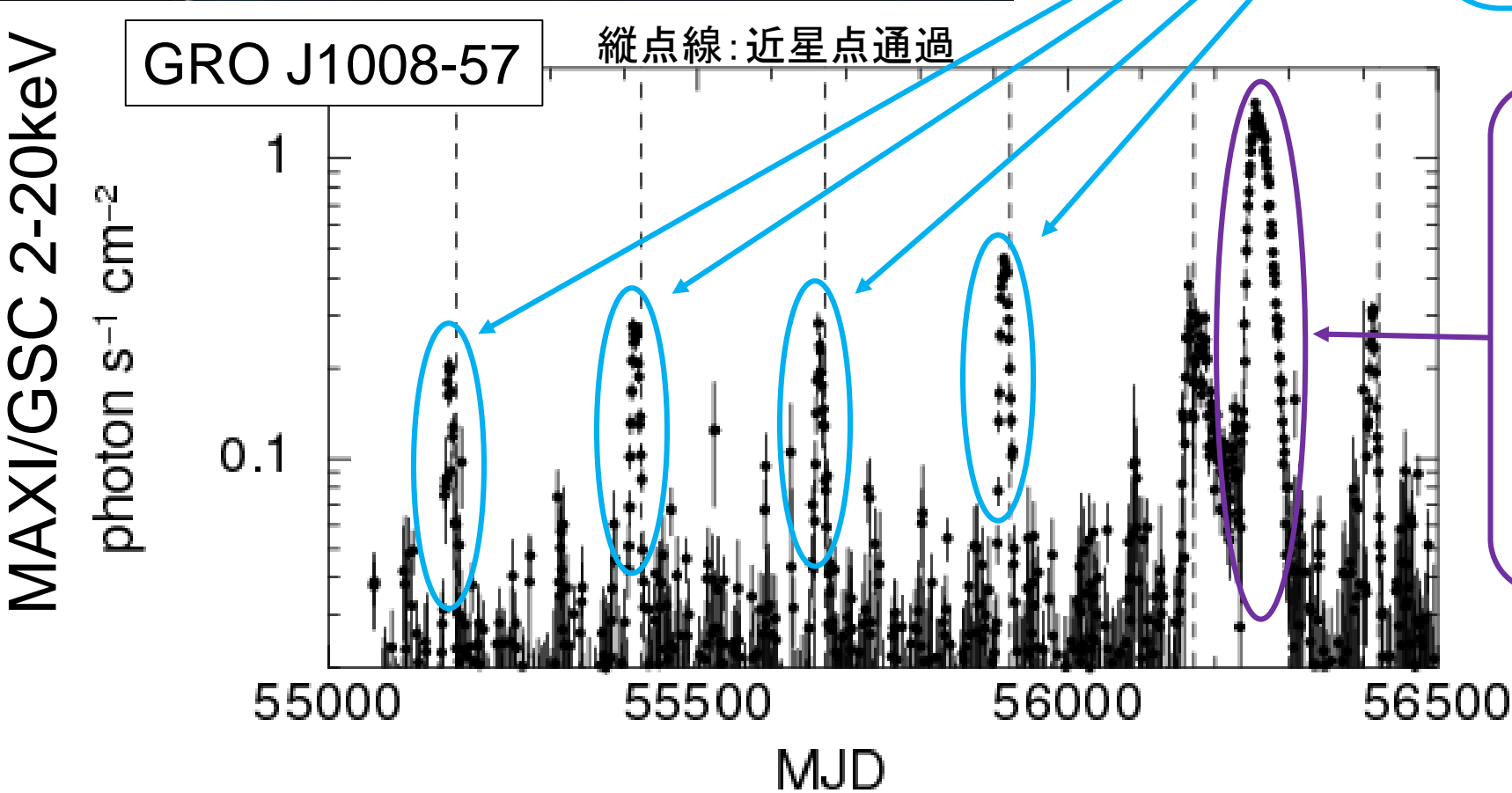
- 星周円盤を持つBe星とX線パルサーの連星。
- 近星点通過の際、Be diskからの質量降着により様々なタイプ(下図参照)のOBを起こす。

Normal Outburst(NOBS)

- 近星点付近での準周期的な増光
- peak luminosity $\leq 10^{37}$ erg/s
- Truncated Be disk + RIAF model (Okazaki+2013)

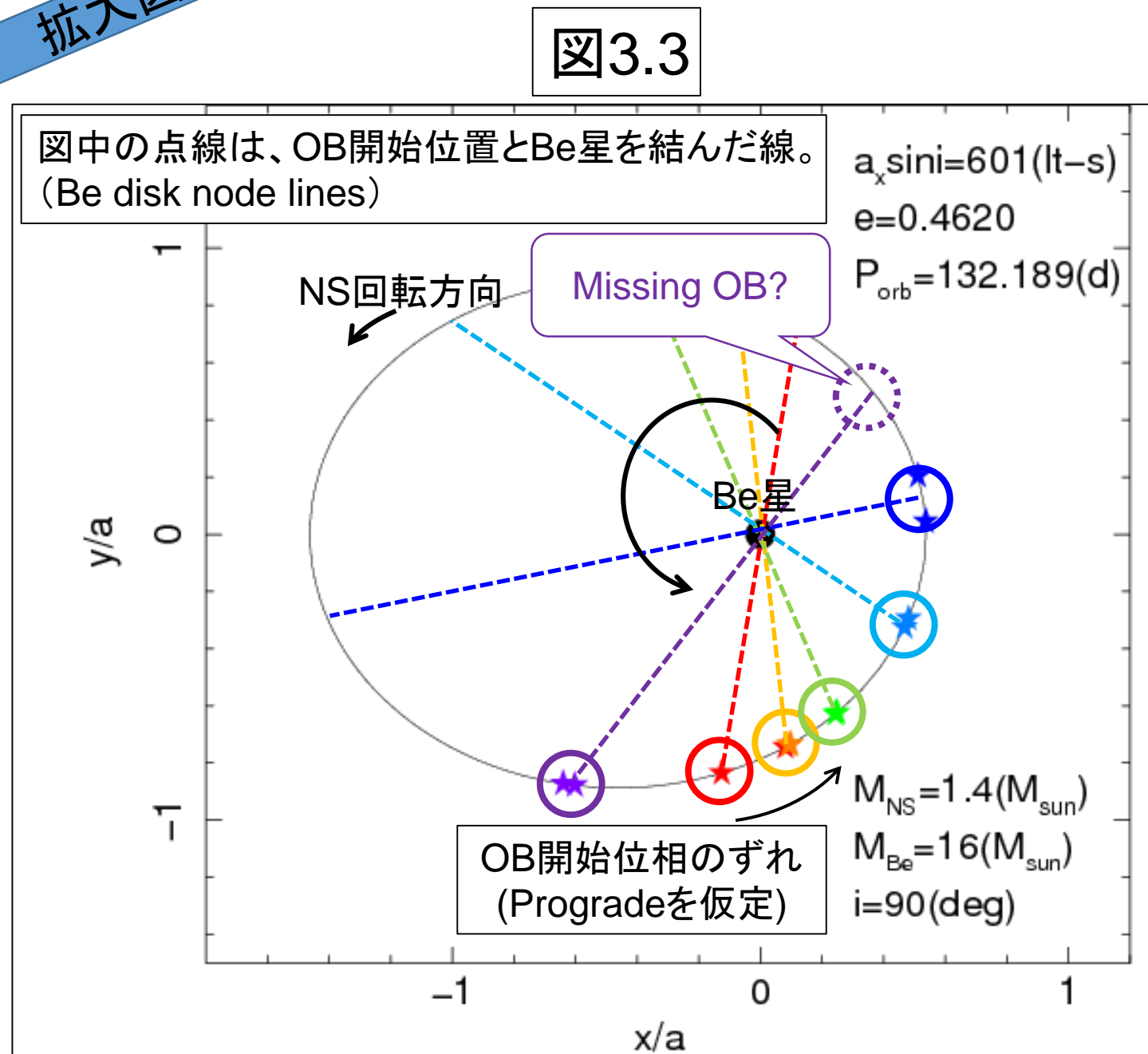
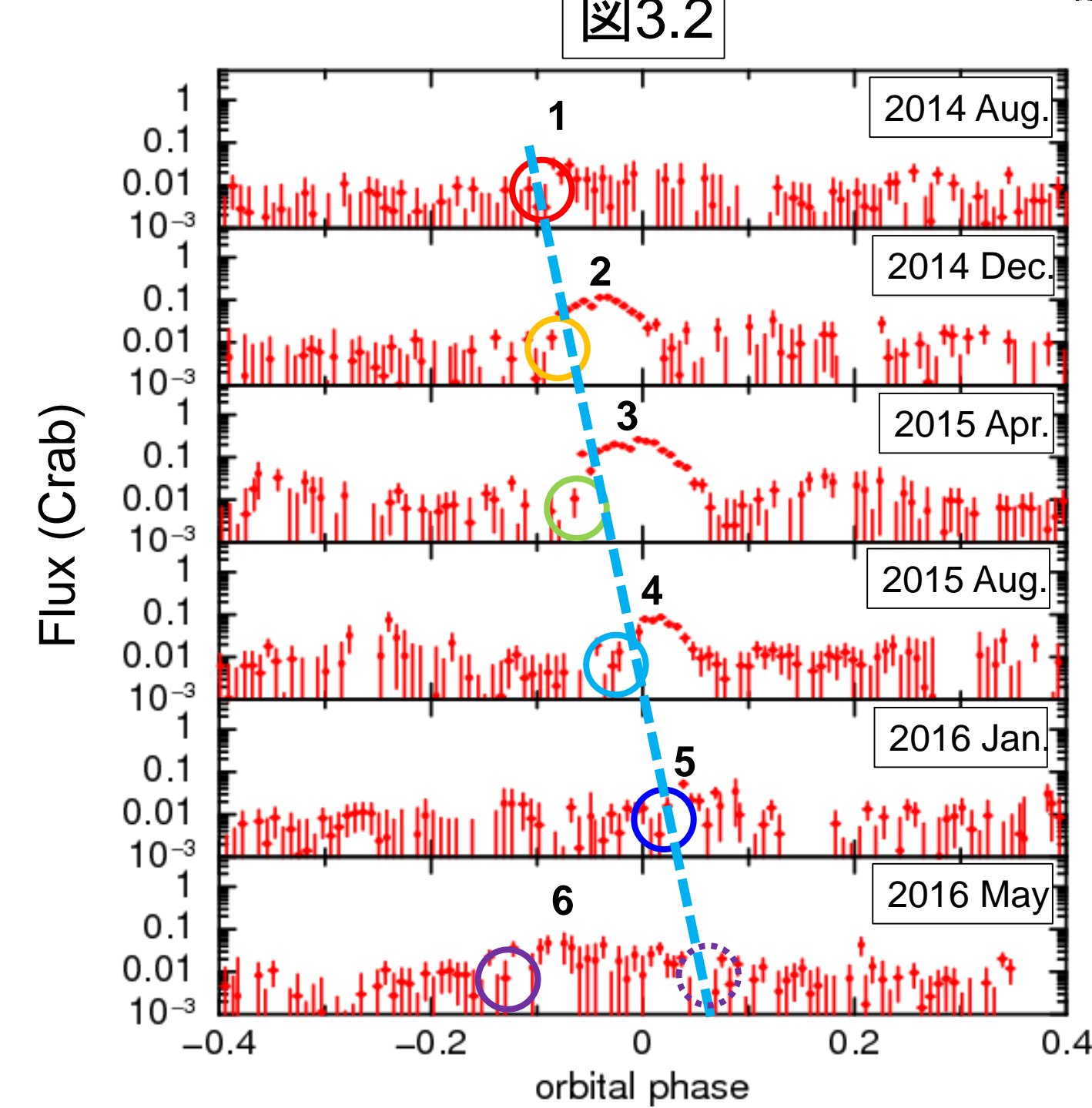
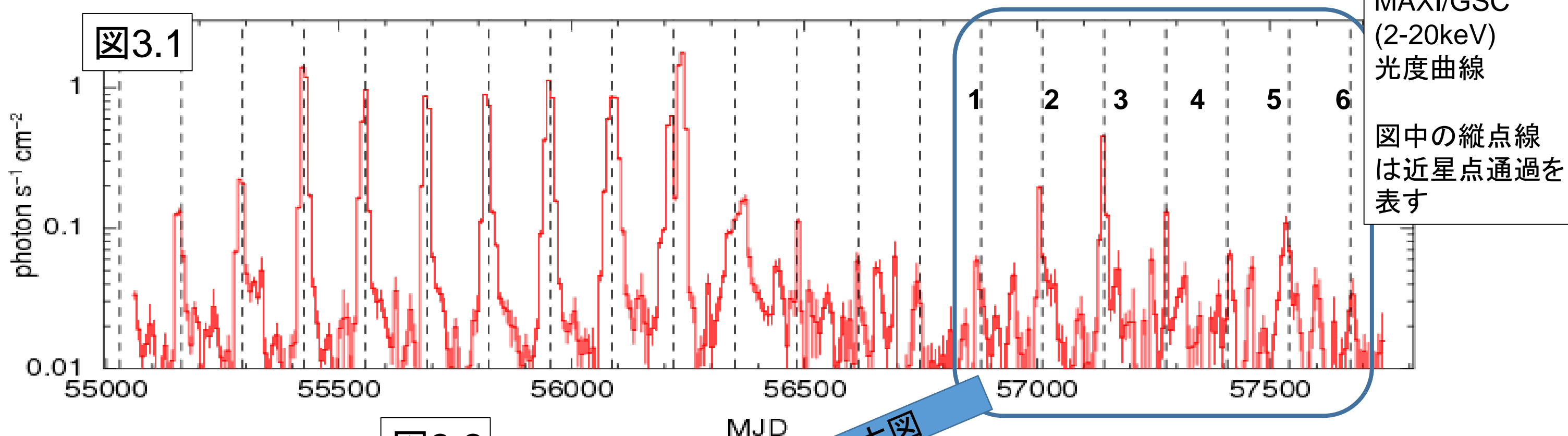
Giant Outburst (GOB)

- NOBより長い継続時間
- peak luminosity $> 10^{37}$ erg/s
- Misaligned (eccentric) Be disk + BHL accretion model (Okazaki+2013, Martin+2014)



3. GX304-1(系統的なOB開始位相シフトの報告)

- 2008年より約28年ぶりにX線活動を再開。
- 軌道周期: 約132日、パルス周期: 約276秒、伴星のタイプ: B2Vne
- 連星軌道周期に同期したOBが観測される。



- 系統的なOB開始位相シフトが2014/08から2016/01まで観測された。
- 2016/05には予想された軌道位相からOBは観測されず、より早い軌道位相(〜0.1)からOBが始まった(図3.2最下段)。
- 軌道面上でのOB開始位相のプロット(図3.3)より、NS軌道面に対して傾いたBe diskが歳差運動をしていて(図3.4)、Be diskとNS軌道が交わることでOBが起きるとすると、観測された系統的なOB開始位相シフト現象は説明できる。
- 系統的なOB位相シフトの観測は4例目(GS0834+430; Wilson+1997, EXO2030+375; Wilson+2003, A0535+26; Moritani+2013, Nakajima+2014)

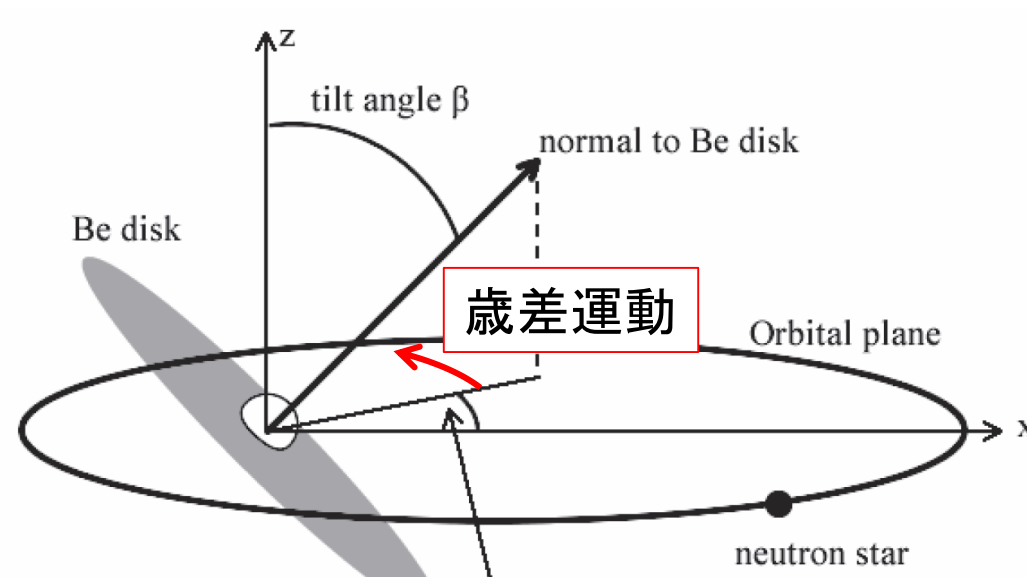
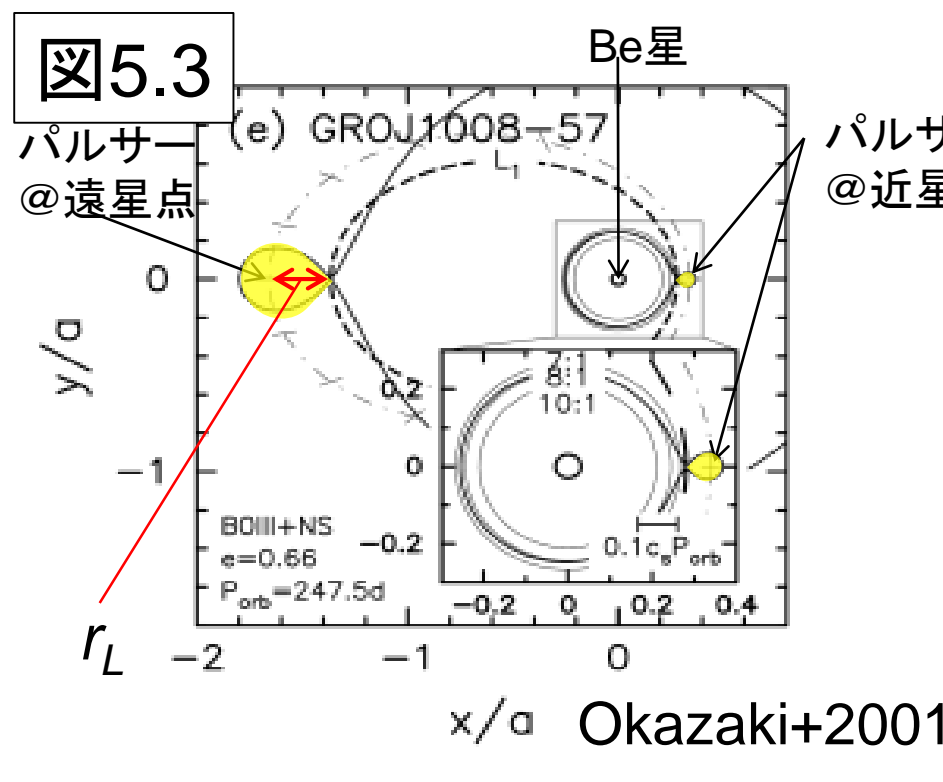
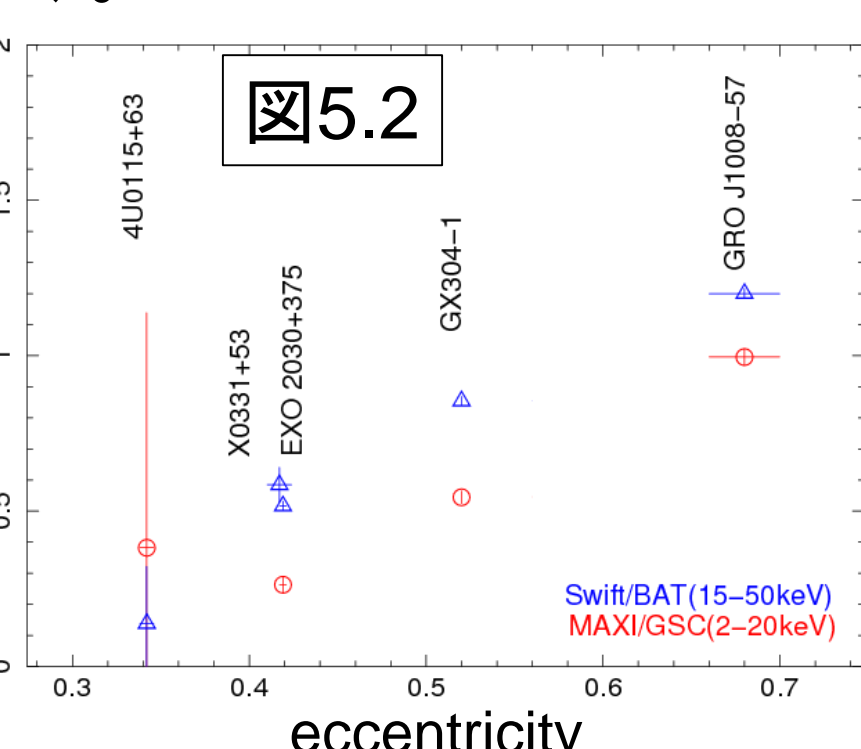
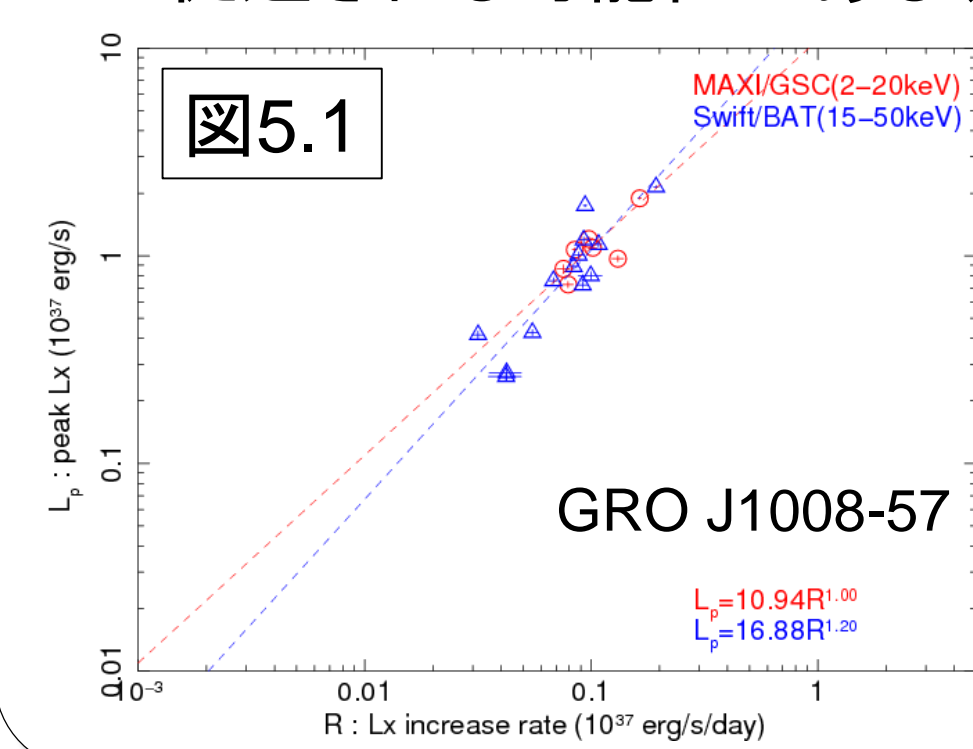


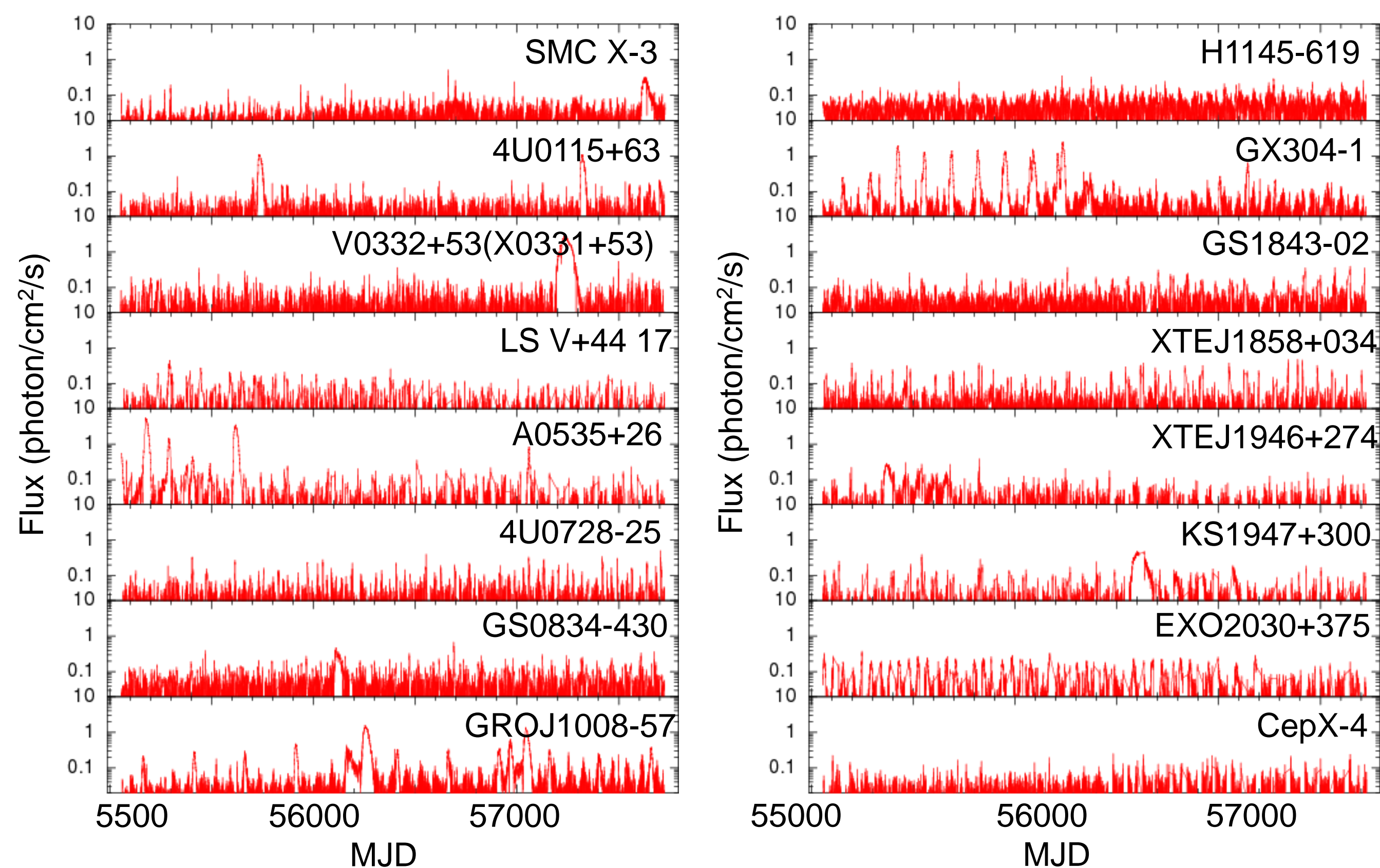
図3.4 (Okazaki+2013)

5. NOBの増光率とピークX線光度の関係

- 代表的な数個のBeXRBのNOBプロファイルを調査。増光率とピーク光度の間に、べき関数で再現できる相関関係があることが判明(図5.1)。
- それぞれの天体の「べき」は、離心率eに依存した分布を示す(図5.2)。
- eが大きい系ほど、近星点付近でロッシュローブサイズ r_L が急激に小さくなり、質量降着が促進される可能性がある(図5.3)。



2. MAXI/GSCによるBeXRBのX線アウトバースト観測と速報結果



- MAXI/GSCにより観測された代表的なBeXRBの2-20keVの光度曲線(上図)。
- ノバサーチシステムが捉えたBeXRBのX線アウトバーストをMAXIメーリングリストに10回通報(2016年中)。
- Astronomer's Telegram へは11本投稿(2016年中) 系統的なOB開始位相シフトの報告: GX304-1 (#8592, #9064) OBピークシフトの報告: EXO 2030+375 (#9263) NOB観測の報告: 4U0115+63 (#9149, #9291, #9512)、GS1843-02 (#9339)、X0331+53 (#9447, #9596)、GRO J1008-57 (#9512) 連星軌道周期の精密決定の報告: 4U0728-25 (#9820)

4. EXO 2030+375 (OBピークシフトの報告とGOB周期性の可能性)

- 軌道周期46日に同期したNOBが約25年にわたり観測されている。
- 1985年と2006年にはGOBが観測された。

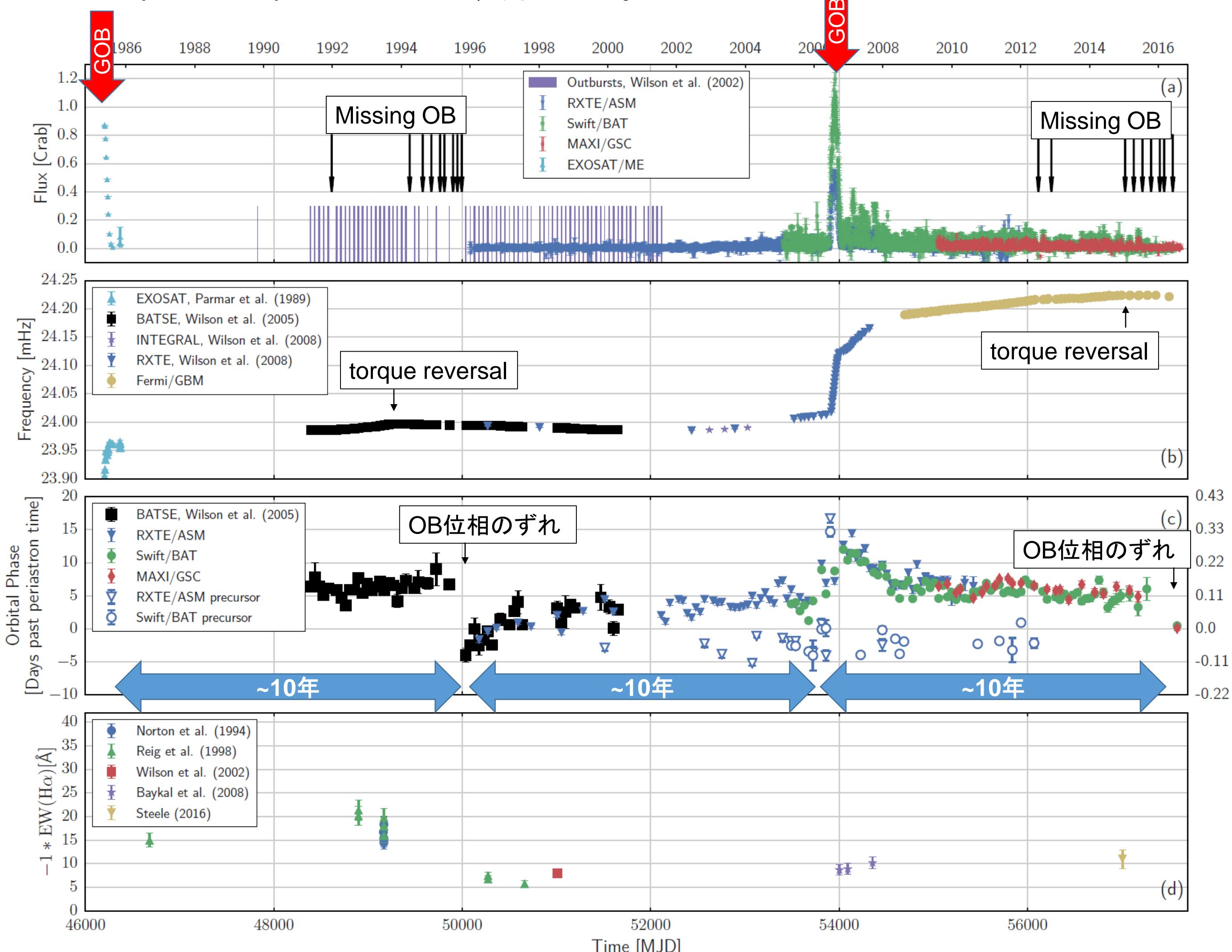


図4.1 (Laplace+2016; Fig.1)

- 2015年よりOBが近星点で度々起きない(missing OB)、パルス周期はスピナップからスピナウンに変化(torque reversal)、OB位相のずれが観測された→約20年前にも同様の現象が観測されている。
- GOB@1985 ~ OB位相のずれ@1995、OB位相のずれ@1995 ~ GOB@2006、GOB@2006 ~ OB位相のずれ@2016、それぞれの時間間隔は約10年。→周期性が存在するのだろうか?
- 古在機構(Kozai 1962)をBe diskに適用。Be diskのNS軌道面に対する傾斜角と、離心率が周期(τ_{KL})的に変化する(図4.2)。

$$\frac{\tau_{KL}}{P_{orb}} \approx \left(\frac{4-p}{5-p} \right) \left(\frac{a}{R_{out}} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{M_{Be}}{M_{NS}}} \left(\frac{M_{Be}}{M_{NS}} + 1 \right),$$

a: orbital separation
P: PL index of surface density of Be disk

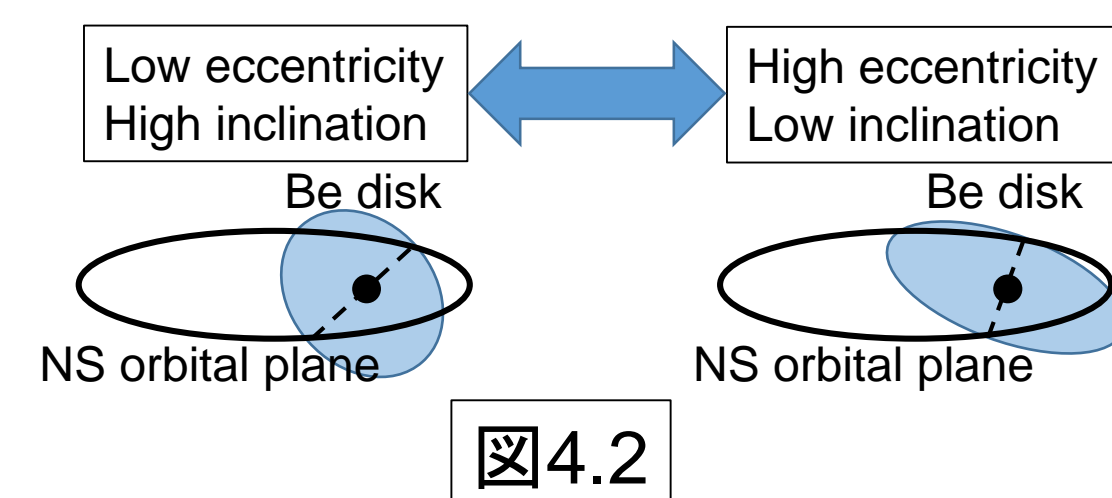


図4.2

- EXO 2030+375の軌道パラメタを上式に適用して、周期(τ_{KL})を求めた
→ $\tau_{KL} = 3820 \text{ day} \sim 10.5 \text{ yr}$ → GOBとOB位相のずれの時間間隔とほぼ一致!
- この予測が正しければ、2026年にGOBが観測されるはず → GOBで初の周期性を発見?

6. 参考文献

- Negoro et al. 2016, PASJ, 68, 24
- Okazaki et al. 2013, PASJ, 65, 41
- Martin et al. 2014, ApJL, 792, 33
- Wilson et al. 1997, ApJ, 479, 388
- Wilson et al. 2003, ApJ, 584, 996
- Moritani et al. 2013, PASJ, 65, 83
- Nakajima et al. 2014, PASJ, 66, 9
- Laplace et al. 2016, arXiv, 1610.03631