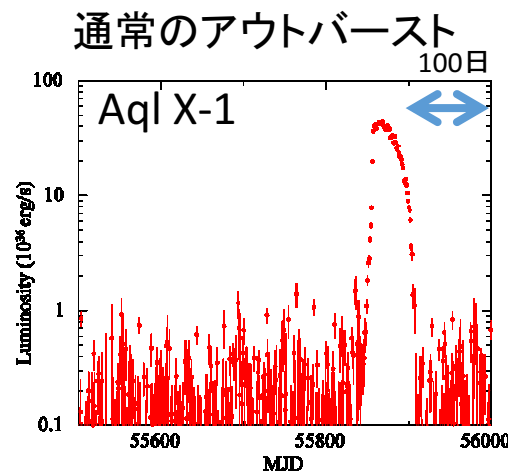


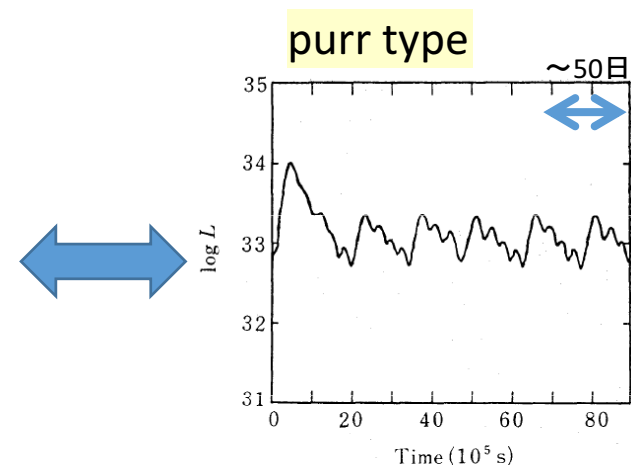
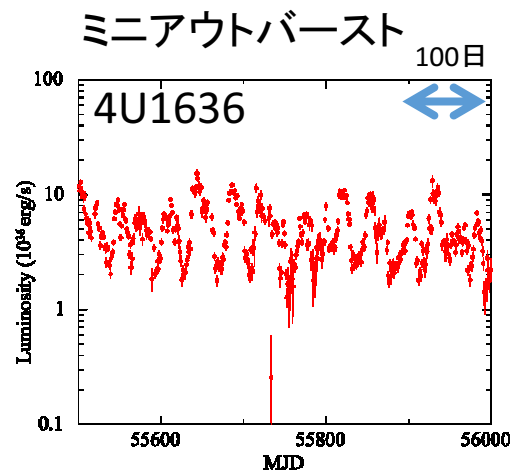
Purr typeの降着円盤不安定性に対する観測的アプローチ

浅井和美(理研)

1. 中性子星低質量X線連星(4U1705-44, 4U1636-536, 4U1608-52, GS1826-238)から、**通常のアウトバーストよりも規模が小さい「ミニアウトバースト」と呼べるようなX線の光度変動**が観測された。
2. 通常のアウトバーストは、矮新星のアウトバーストと同様に、降着円盤の熱的不安定性モデルで解釈されている。このミニアウトバーストも、降着円盤の熱的不安定性モデルで説明できるか？
3. **Mineshige & Osaki (1985)には、振幅の小さい光度変動(purr type: Mineshige & Shields 1990)の計算結果がでていた。**
4. ミニアウトバーストは、このPurr typeの降着円盤不安定性で説明ができることを提案する(Asai et al. PASJ, in press)。



MAXI/GSCの1-day light curve (2-10keV)



Mineshige & Osaki (1985)

ミニアウトバーストの特徴(200日間の光度曲線): 2例 (4U1636と4U1608)

赤:ソフト 青:ハード

4U1636-536

4U1608-52

内側円盤の状態(x線を出す領域)

ソフト状態

降着円盤

中性子星

コンプトン雲

ハード状態

ソフト状態における ミニアウトバーストと通常のアウトバーストの比較

ソフト状態の滞在時間(日)

Duration of soft state (d)

△ ミニアウトバースト

● 通常のアウトバースト

連続的な変化

Average L_x of soft state (erg s^{-1})

ソフト状態の2-10keVの平均光度(erg/s)

4U1705, 4U1636, 4U1608, GS1826の4天体から観測されたミニアウトバーストの特徴

- 2-10keV光度の変化が2-3倍
- 変動のタイムスケールは**数十日**
- 通常のアウトバーストに比べ、ソフト状態の平均光度が小さく、滞在時間が短いが**連続的な変化**である。

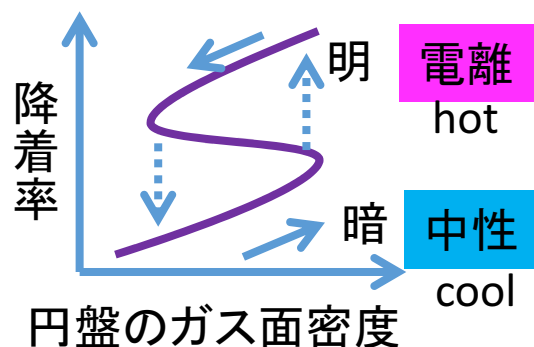
数十日のタイムスケールの変動は外側円盤に起因する変動ではないか？

通常のアウトバーストとの連続性は、外側円盤で起きる**円盤不安定性**による現象を示唆しているのではないか？

purr-type 不安定性について: 理論モデルから示唆されること

Mineshige & Osaki (1983)

熱平衡曲線のリミットサイクル(S字)

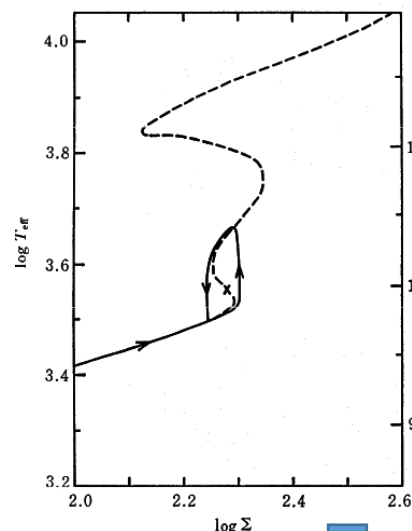


- 円盤が下のブランチから上のブランチに遷移するとき、粘性係数 α が一定とすると、s字の横幅が小さく、局所的に起きた不安定性は、円盤全体に伝わらず、小さな振幅(3倍程度)となり、矮新星のアウトバーストは説明できない。
- 一方、 α の温度依存性を考慮すると、 α の異なるs字のブランチに遷移するため、s字の幅が広がり、局所的に起きた不安定性が、円盤全体に伝わり、観測されたアウトバーストが説明できる。

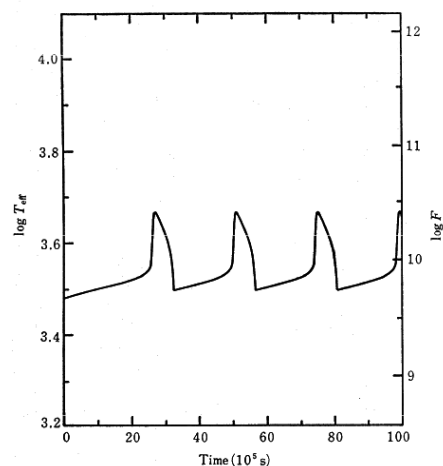
このPurr typeがミニアウトバーストを説明できるのではないかな?

それには、 α が一定で近似できる状態で遷移が起きている必要がある。

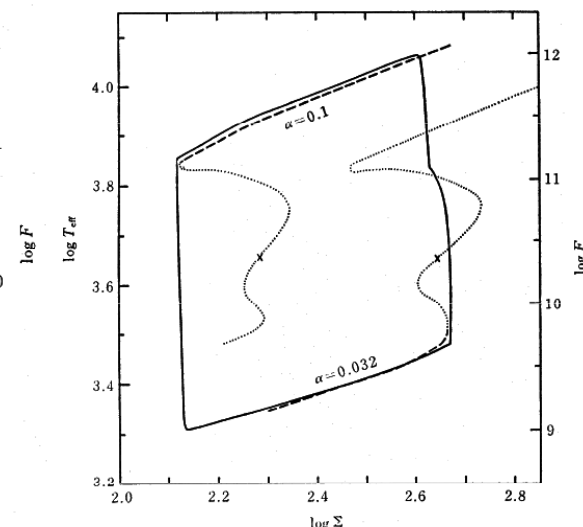
α 一定の場合: $\alpha=0.1$



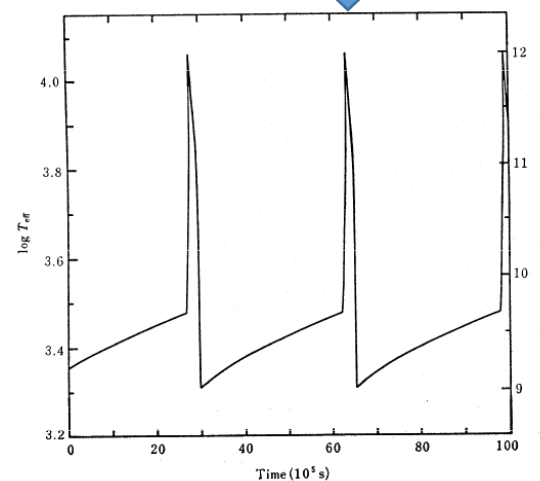
Purr type



α の温度依存性を考慮した場合
 $\alpha=0.1$ (hot) と 0.032 (cool)



Roar type



Mineshige & Shields (1990)で

左側がpurr type、右側がroar typeと名付けられた。

「ミニアウトバースト」のpurr-type 不安定性による解釈

一般に、中性子星X線連星の場合は、矮新星の場合と異なり、中心領域からのX線照射が強く、降着円盤が受けるX線加熱の影響が無視できない。

この効果を入れてS字を計算したのが、右図(Tuchman et al.1990)。

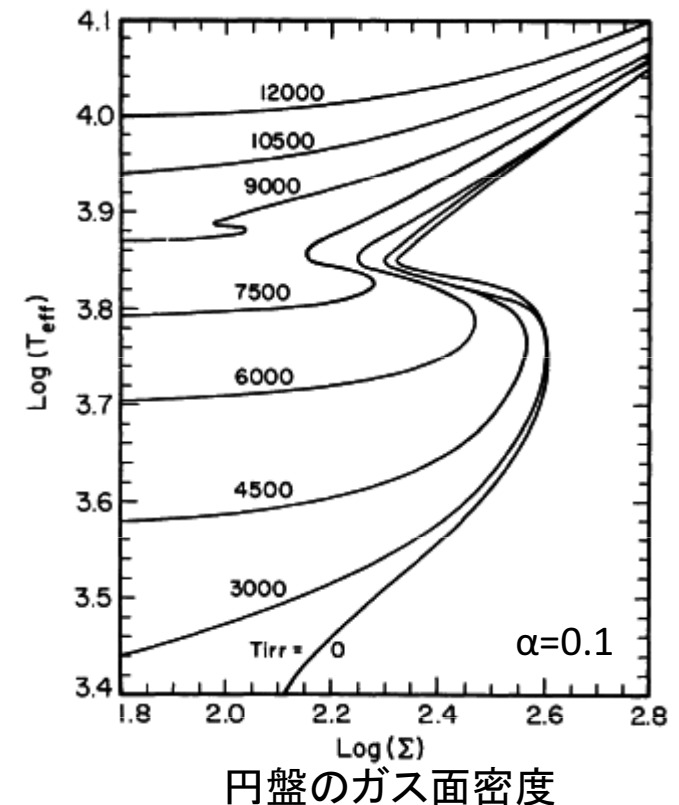
X線加熱効果

1. X線照射により、円盤の温度が上がるが、照射が弱ければ、S字の幅は小さくなるが、不安定性は起きる。
2. 遷移前の円盤の温度があがることで、遷移前後で α の値の差が小さくなるので、二つのS字が作る幅は小さくなる。



X線照射を考慮すると、 α の依存性がほとんどない α 一定のモデルが適用でき、purr typeの不安定性が起きている可能性があると考えられる。

Tuchman et al. (1990)

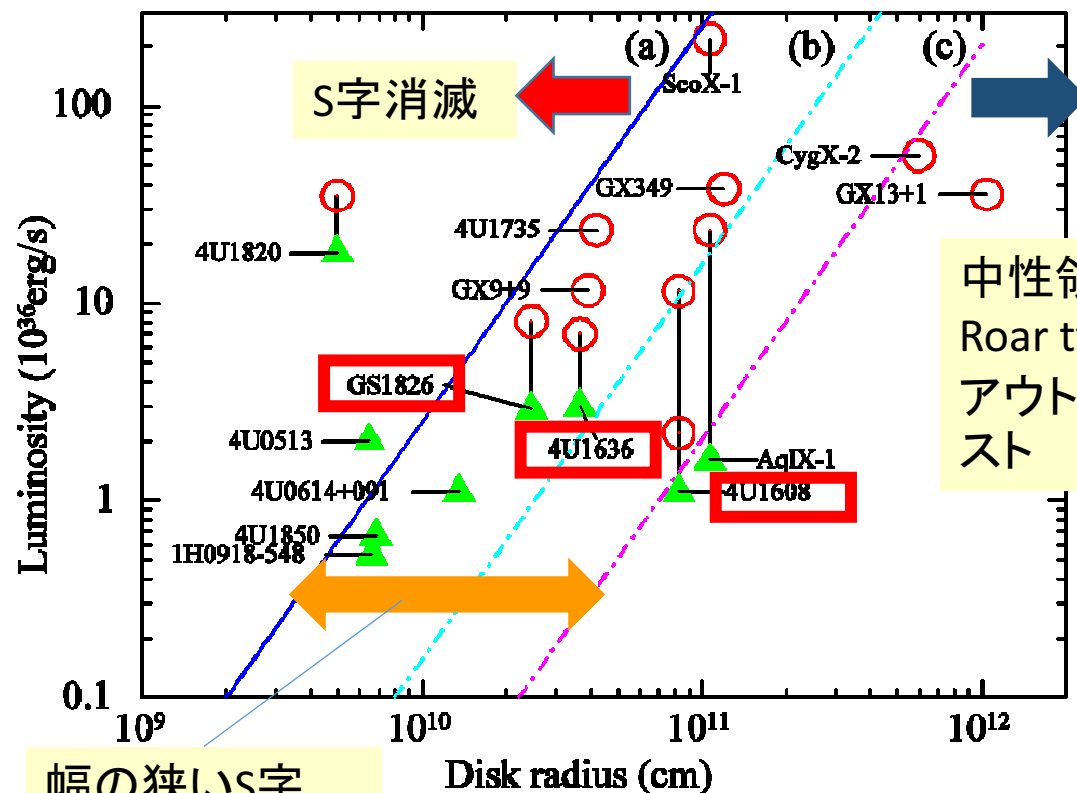


ミニアウトバーストが観測された4天体の外側円盤の状態について、調べてみた。

円盤の外側半径とMAXI光度(2-10keV)の関係

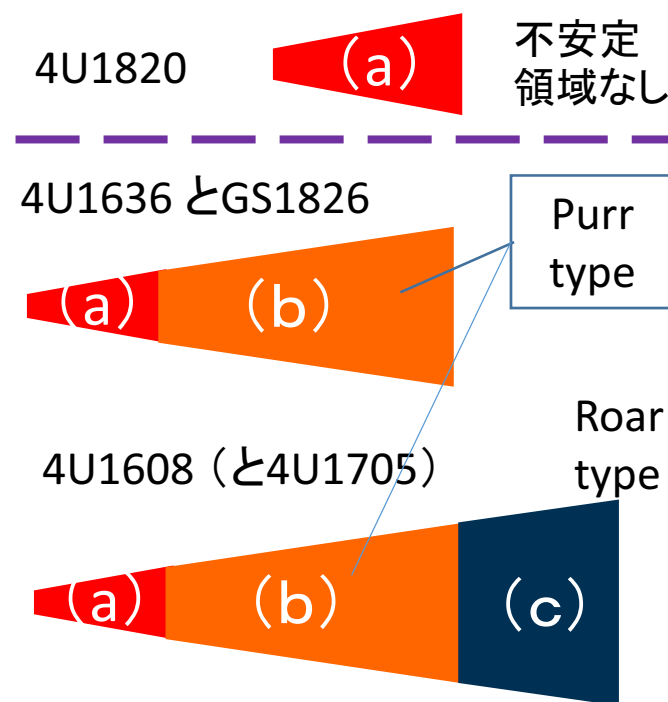
○:ソフト、▲:ハード

円盤半径:軌道周期と伴星の質量(Liu et al. 2007)から求めた連星間距離の35%(Smack 1982)とした。



(a) $T_{\text{irr}}=10000\text{K}$ 、(b) $T_{\text{irr}}=5000\text{K}$
(c) $T_{\text{irr}}=3000\text{K}$ 、(Tuchman et al. 1990)

降着円盤の推測図



幅の狭いS字
Purr type : ミニアウトバースト

Disk radius (cm)

※4U1705は軌道周期不明。しかし、アウトバーストが起きているので、4U1608と同様な状態ではないか？

ミニアウトバーストが観測された4U1636、GS1826、4U1608には、X線照射により、幅の狭いS字になるような領域((a)と(c)の間)、つまり、purr type不安定性が生じる領域があり、ここで生じた不安定性が、ミニアウトバーストとして観測されたと推測できる。

まとめ

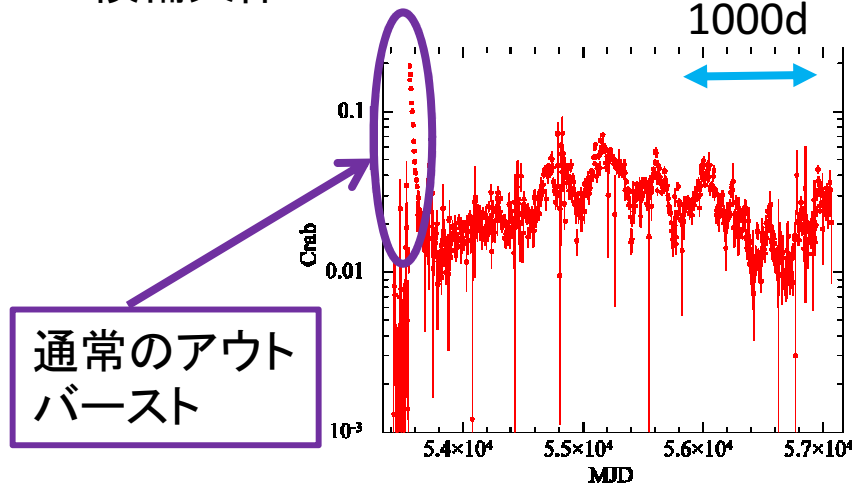
1. 「ミニアウトバースト」をpurr type で解釈できるか？

- X線照射により、外側円盤の温度が上がっていると、熱平衡曲線のS字は、幅が小さくなり、また、S字の遷移前後で粘性係数 α の温度依存性も小さくなり、 α 一定としたpurr type の不安定性が起きる可能性がある。つまり、ミニアウトバーストのような小さな振幅の変動が生じると考えられる。
- ミニアウトバーストが観測された4天体は、X線照射がある程度効いていると考えられ、そこで、purr type の不安定性が起きていると解釈できる。

★ purr type 不安定性が起きても、増光が小さい場合は、内側円盤の遷移には至らず(光学的に薄い状態のまま)、X線強度だけ変動すると思われる。これが、ハード状態で観測される、数十日にタイムスケールの強度変動の原因か？

2. BH-LMXBでもミニアウトバースト(purr type の不安定性)は起こるのだろうか？

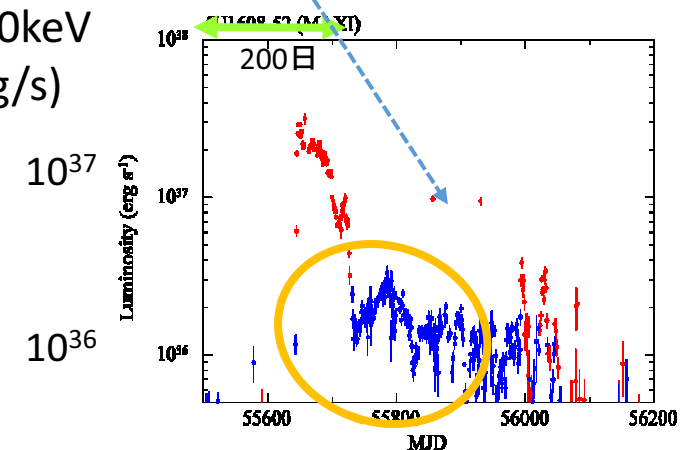
- 候補天体: Swift J1753.5-0127

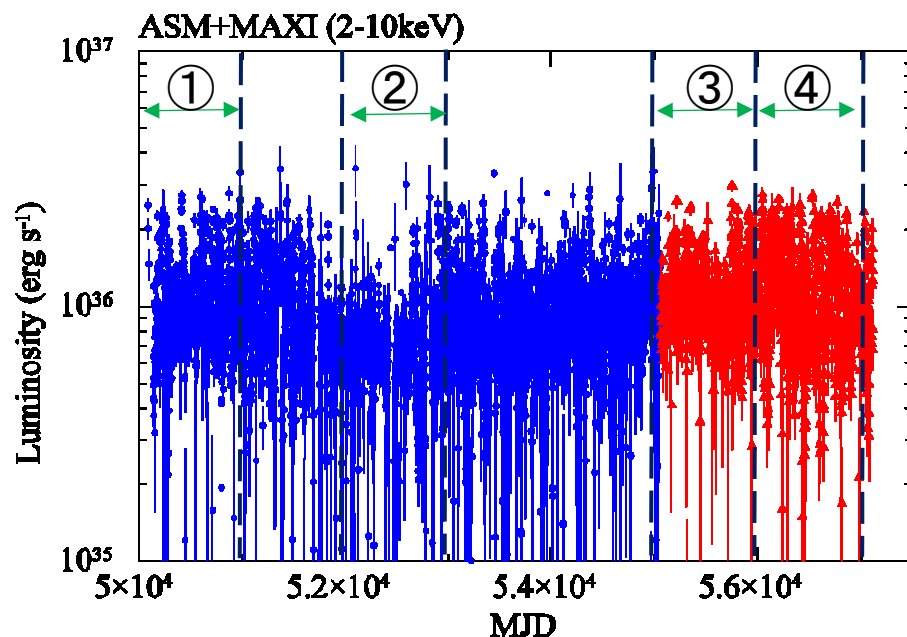


2-10keV
(erg/s)

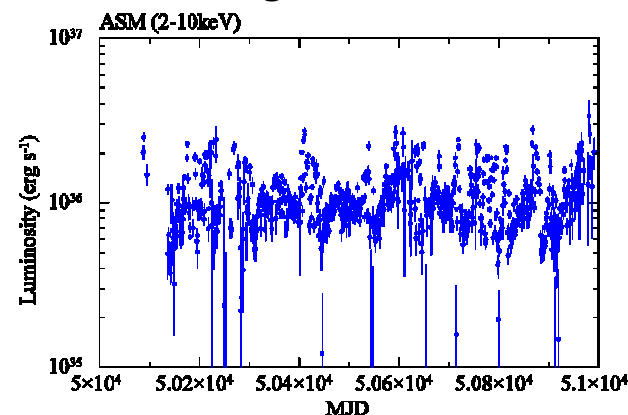
4U1608-52

赤 ソフト
青 ハード

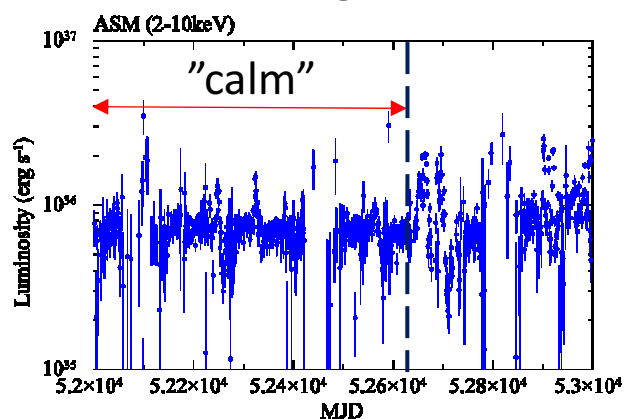




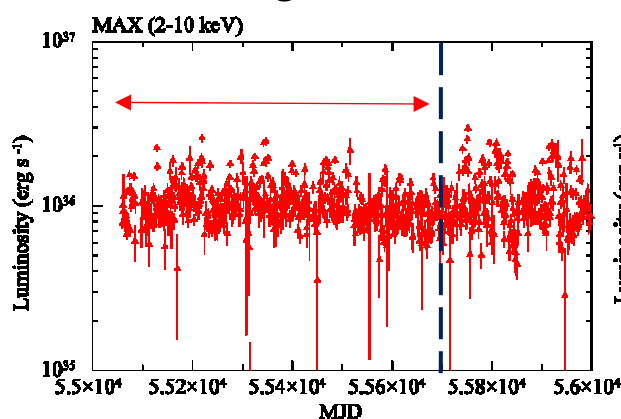
① 10^{36} erg/s 近傍で変動



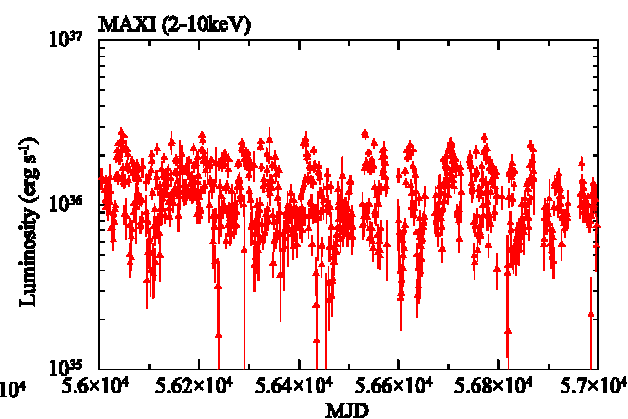
② 6×10^{35} erg/s 近傍で安定



③ 10^{36} erg/s 近傍で安定



④ 10^{36} erg/s 近傍で変動



②の時期(光度が 10^{36} erg/s以下に減少)では、光度変動が小さくなっている("calm" in Kuulkers et al. 2010)。①の時期の変動を、purr type不安定性とするならば、 10^{36} erg/s以下では、その不安定性が抑えられる、あるいは、生じなくなっているのだろうか？しかし、③の時期では、①と同じ光度でも、変動が小さくなっている。別の原因があるのだろうか？