

全天X線監視装置MAXIによる X線連星パルサーA0535+262の観測

芝浦工業大学/理化学研究所
五月女哲哉

1. Be型X線連星の説明
2. MAXIによるA0535+262の観測
3. 重ねたアウトバーストの光度曲線
4. 軌道周期111日の周期解析
5. 2009年12月のアウトバースト
6. アウトバースト各所でのスペクトル
7. 示唆される描像
8. まとめ

Be型X線連星A0535+262

Be型星

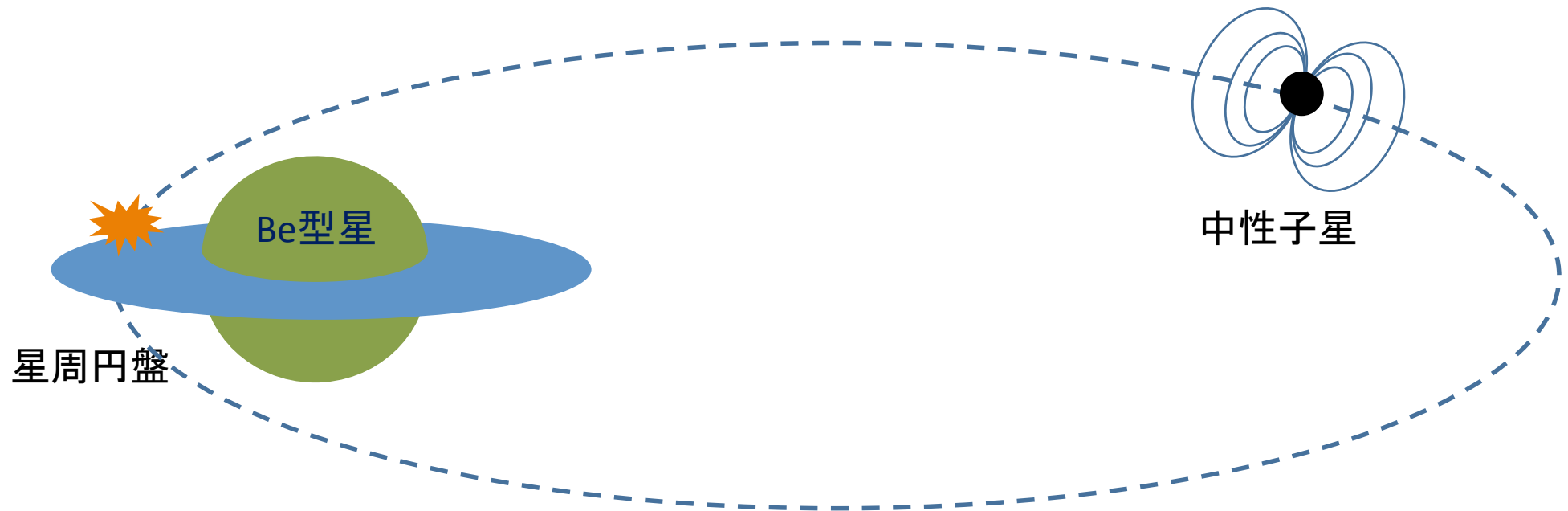
→ 輝線(e:emission)が観測されるB型星

中性子星

磁力 $B \sim 4 \times 10^{12} \text{G}$

パルス周期 $\sim 103 \text{秒}$

軌道周期=111日



Be型X線連星とはBe型星と中性子星からなる連星系のことです。Be型星とは恒星のスペクトルの中に輝線が見えるB型星のことで、中性子星は軌道周期は111日でその周りを回っています。

中性子星が星周円盤を横切る



アウトバースト(大增光)

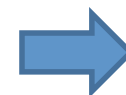
Be型星は星周円盤と呼ばれるガス円盤を形成しており、このA0535+262では中性子星がBe型星の星周円盤を横切るときにアウトバーストと呼ばれる大增光現象を起こします。

MAXIによるA0535+262の観測

- Be型X線連星はアウトバーストの立ち上がりの観測データが少ない。星周円盤の構造等を詳しく知るためにはその観測データが重要になる。従来のポインティング衛星の場合には明るくなってから追加観測を促すためその情報は得づらい。連続観測は最大で1日ていどであるため連続的な変化を観測することが難しい。しかし、MAXIの場合は、ISSに搭載されているので長期にわたる連続的な観測が可能である。たとえばA0535+262の場合は軌道周期の111日の全フェイズの観測が可能であり、アウトバーストの立ち上がりから立下りまでを連続的に負うことができる。
- 図はA0535+262のMAXIが打ち上げられてから今までの全期間の高度曲線である。MAXIは観測期間内に途中から観測したものを含め4回のアウトバーストをとらえている。軌道周期といわれる111日に着目してどのようなズレをもっているのかを調べた。

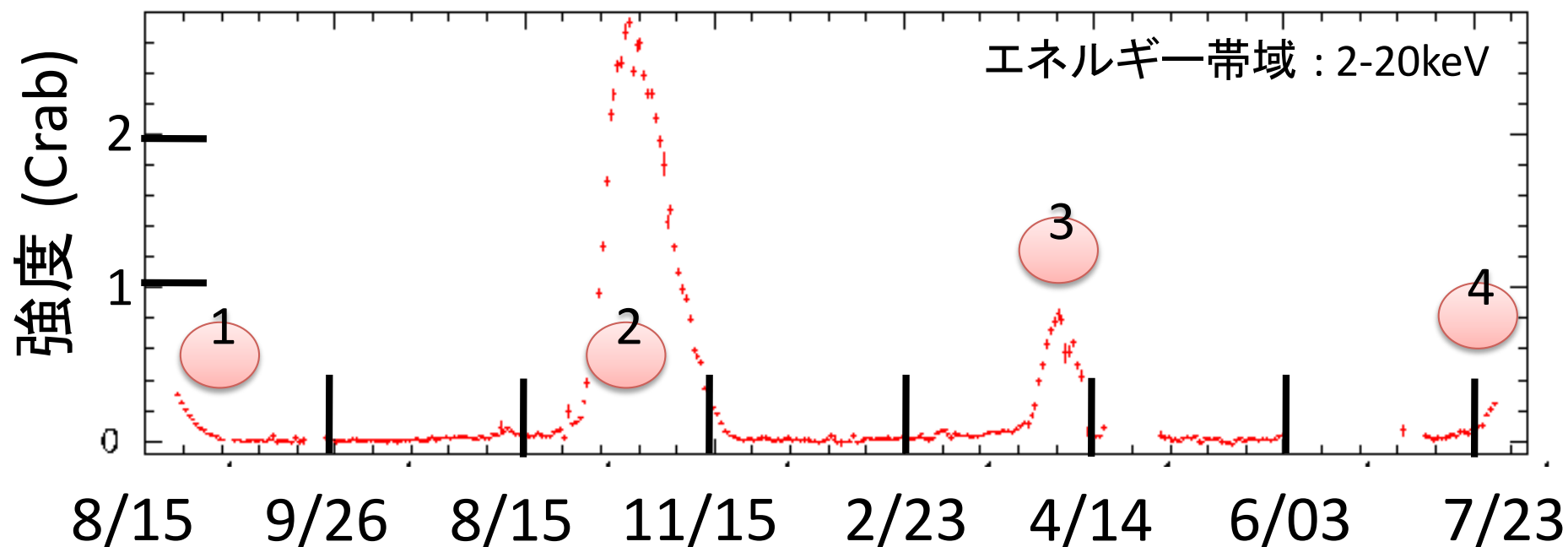
MAXIによるA0535+262 の観測

○アウトバーストの立ち上がりの観測データ



星周円盤の構造

MAXI 打ち上げから現在までのA0535の光度曲線

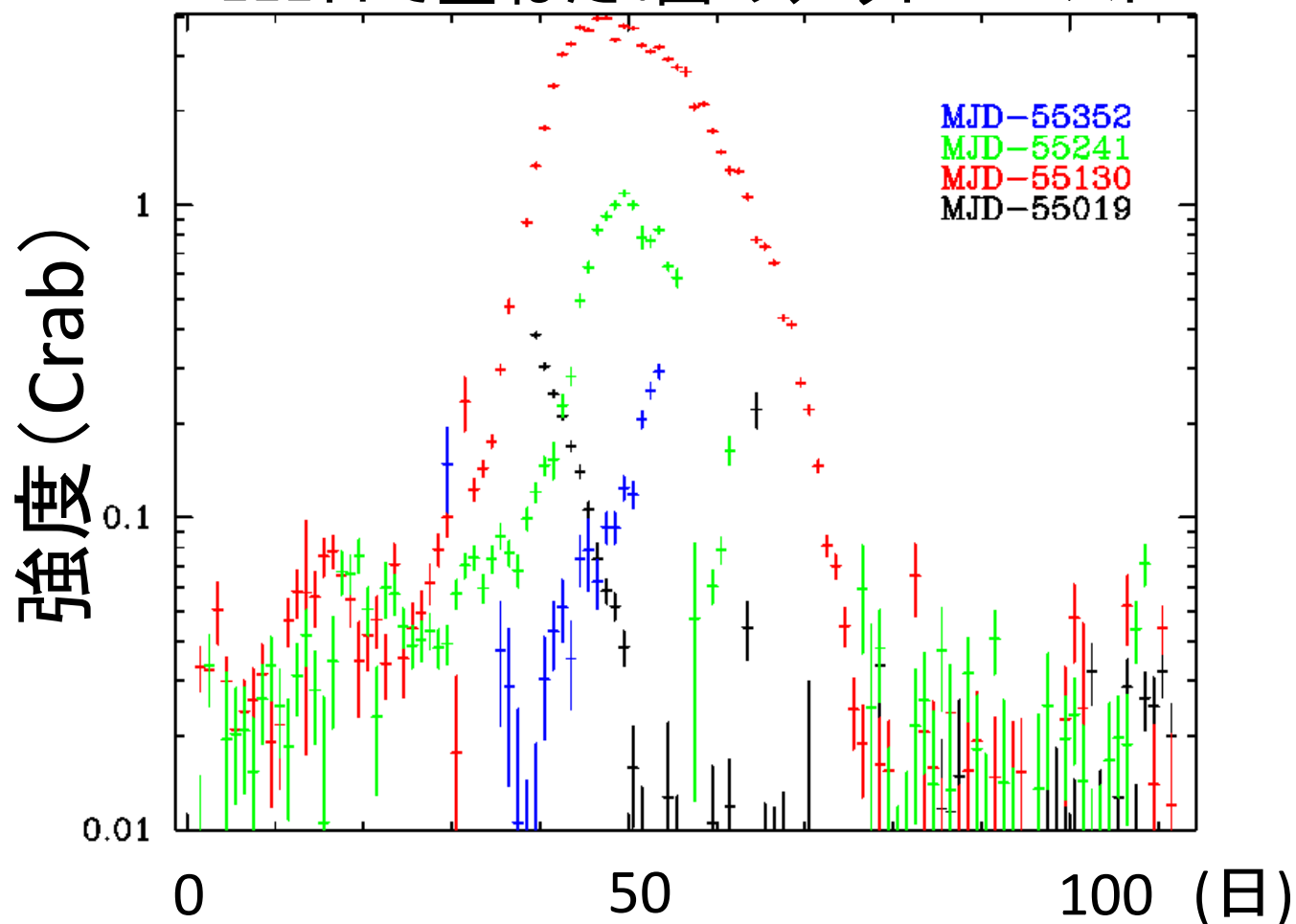


重ねたアウトバーस्टの光度曲線

- 右側の図はMAXIが打ち上げられてから今までに観測したA0535+262のライトカーブを111ごとに区切って重ね合わせた図です。
- お分かりいただけるようにアウトバーस्टのピークの部分がぴったり同じ部分で重なるわけではなくズレが生じています。そこでそのズレがどれくらいであるのか調べました。

重ねたアウトバーストの光度曲線

111日で重ねた4回のアウトバースト



ピーク的位置が同じ場所に重ならず、
111日周期からはずれたものが確認できる

軌道周期111日の周期解析

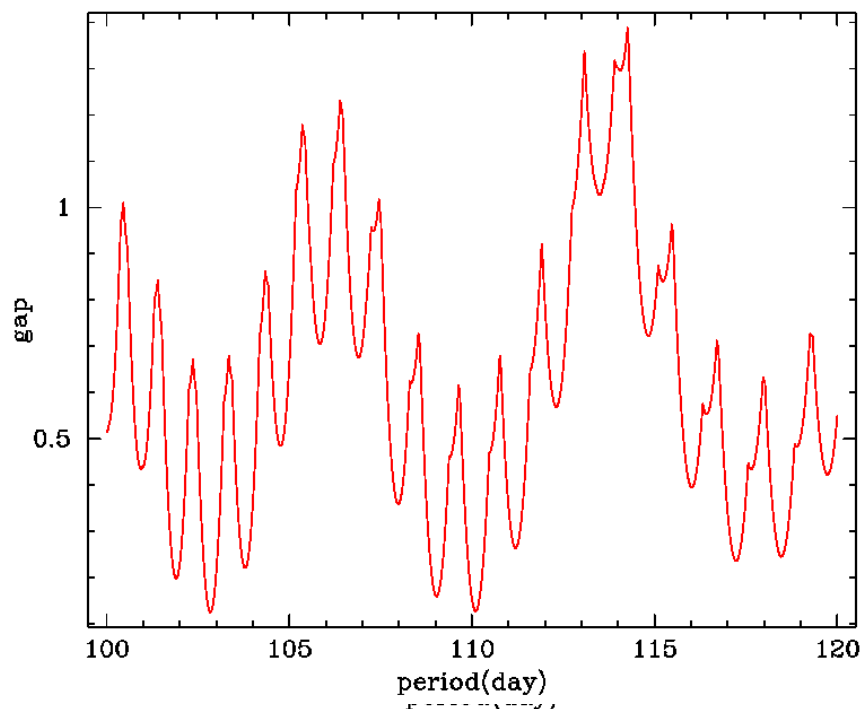
- 周期のズレを調べるために上のような計算式を使用しました。MAXIとXTEの観測で確認したアウトバーストのX線ピークの日付 T_i と基準日 T_0 の差を取り、周期 P で割ってどのくらいの割合であるかを求める。
- この解析にはMAXIで観測されたデータに加えてXTE/ASMから得られたデータも使って補った。その周期に対する割合の少数部分を抜き出し、その二乗和をとったものをズレとして判断につかった。この計算を周期 p を変数にとってズレとの関係を計算した。
- その結果、左図のようなグラフを得ました。横軸に変数にとった周期、縦軸にズレの二乗和をとっている。この計算結果によるとズレが最も小さくなるのは109.8日という結果が出た。これと同様の計算を論文から得た1975年5月1日～11月10日のより古いアウトバーストのピークのデータを含めて行くと、102.8日という結果がでた。
- いずれも公になっている111日周期より小さい値をとっているということが確認できる。このアウトバーストは111日周期で起こっているが大きいアウトバーストが起こるときにはピークが軌道周期上の近星点より遅れて起こっており。そのため周期のズレが生じるのではないかということが示唆される。

軌道周期111日の周期解析

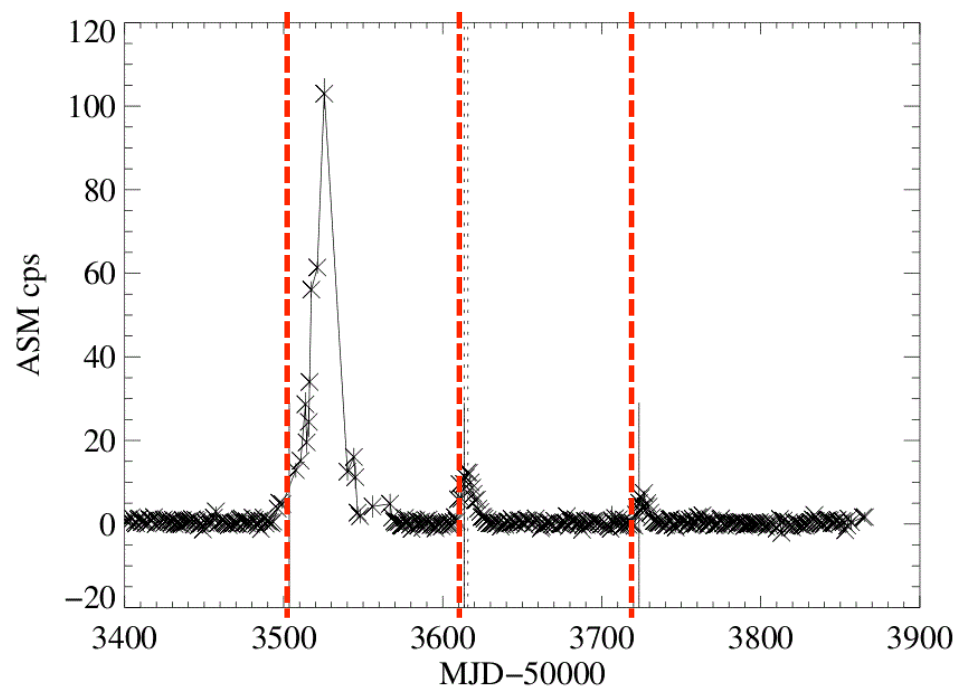
観測データ
とのズレ

$$\sum_i \left(\frac{T_i - T_0}{p} - \left[\frac{T_i - T_0}{p} \right]_{\text{round}} \right)^2$$

MAXI, XTE/ASMのデータでの周期: 109.8日
過去データのピークでの周期: 102.8日



MAXIで観測されたピークを使ったとき
と論文の過去のピークを使ったときの
最もズレが小さくなるようなpを求める



25 Jan 2008 I.Caballero et al.

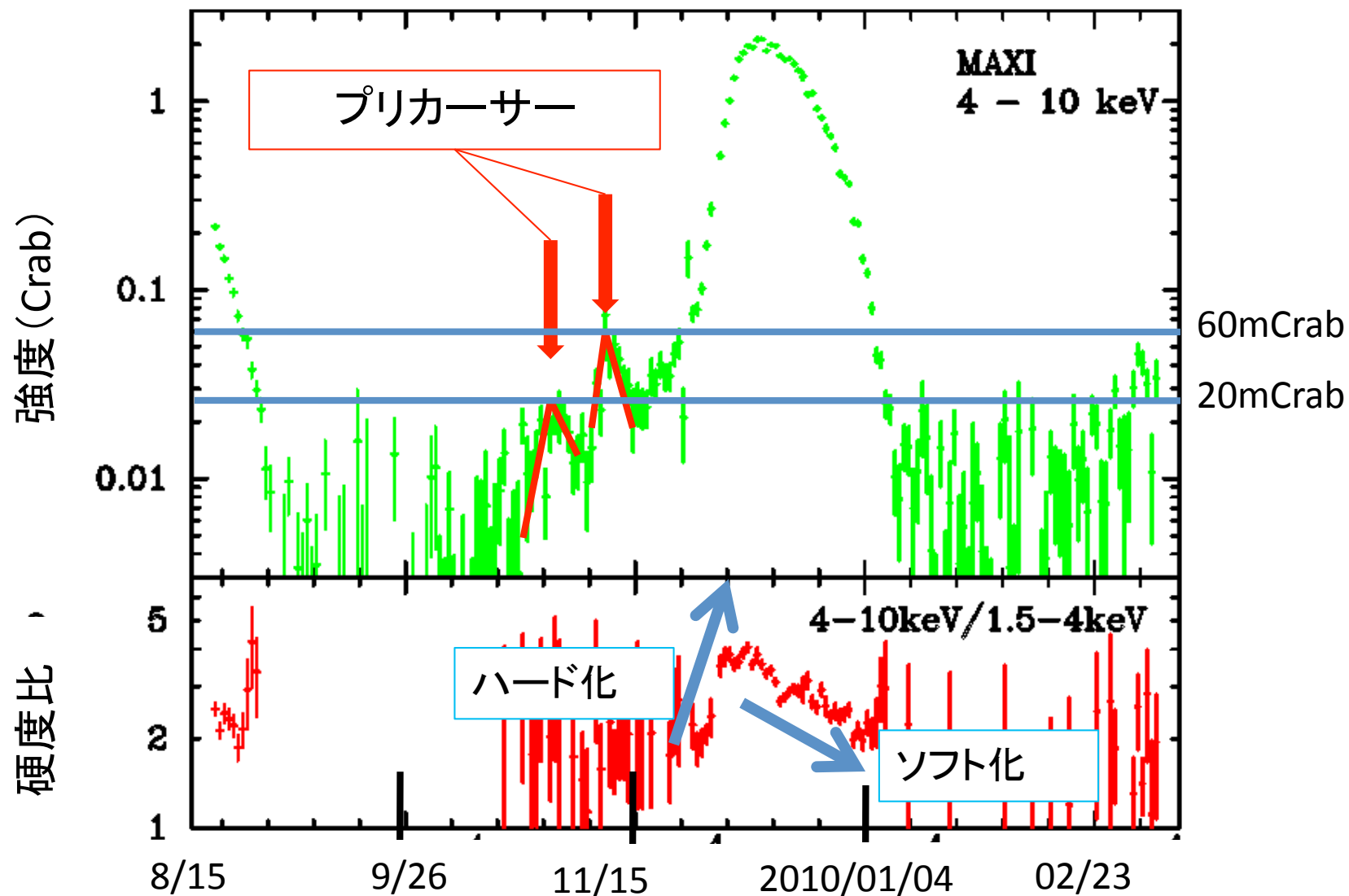
大きなアウトバーストが起こる周回では
近星点を通過した後にピークが遅れて
くる

2009年12月のアウトバースト

- 大きいアウトバーストが起こった2009年12月のデータに着目する。
- プリカーサと呼ばれる10日程度の小フレアを2回観測した。この現象は200mCrab程度の明るさで起こっており、今回MAXIで初めて観測されたものである。
- メインのアウトバーストの硬度比からは立ち上がりにおいて急激に硬化し、そこからだんだんと軟らかい成分の割合が増えているという様子が見て取れる。

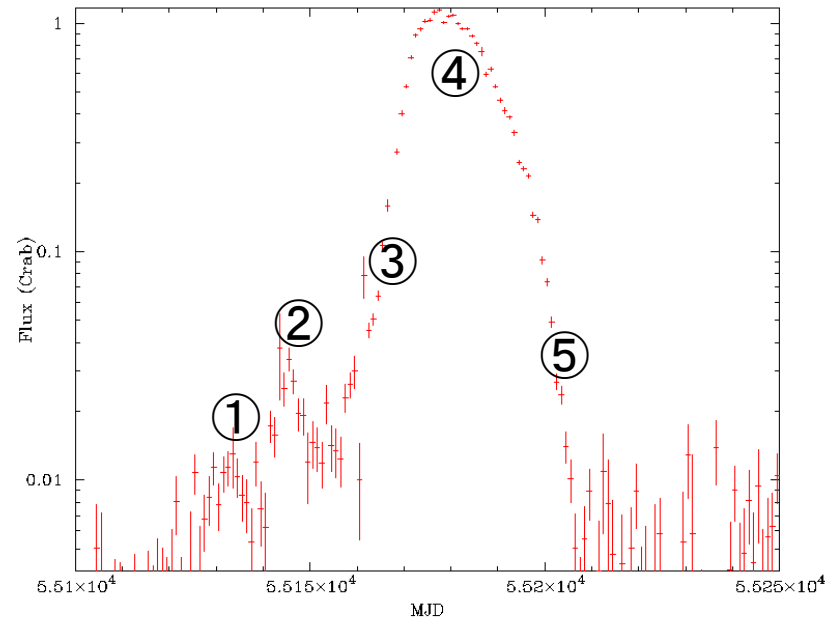
2009年12月のアウトバースト

A0535+262



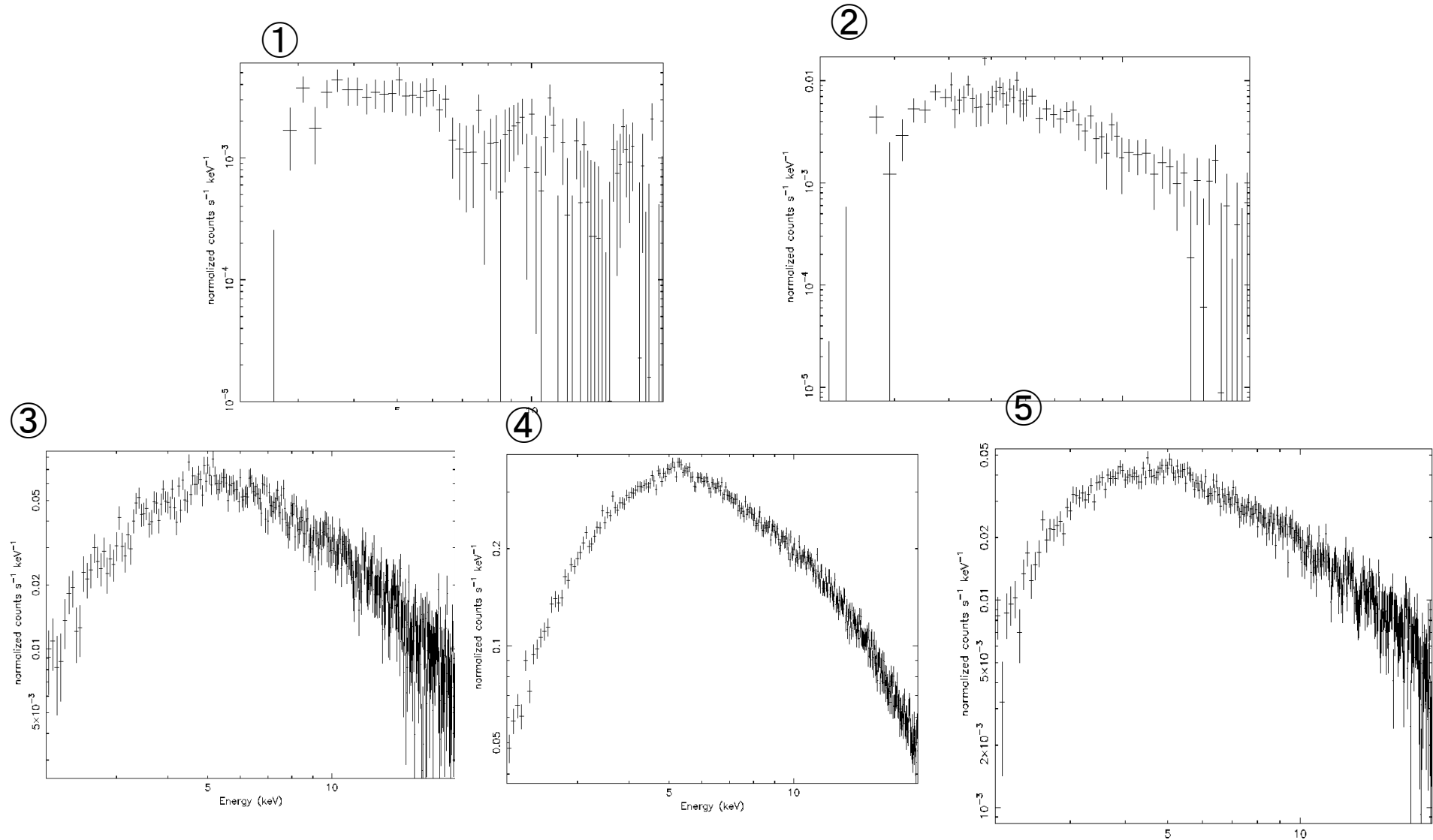
2009年12月のスペクトル

ライトカーブ



MAXIではフレアが起こる直前のプリカーサの観測に成功している。ここでも2009年12月のアウトバーストのデータからスペクトルの形について比較をしていく。真中の図は2009年12月のアウトバーストのライトカーブの図です。このライトカーブの中の2つのプリカーサ部分、メインのアウトバーストの立ち上がり部分、ピーク部分、立下り部分の5つの部分ごとに分けてスペクトルの形について比較を行う。

2009年12月のスペクトル



プリカーサ2つの形は比較的似た形をしている。同様にアウトバーストの各部分についても似たような形が見て取れる。しかし、プリカーサとアウトバーストのスペクトルでは異なる形であることが分かる。

示唆される描像

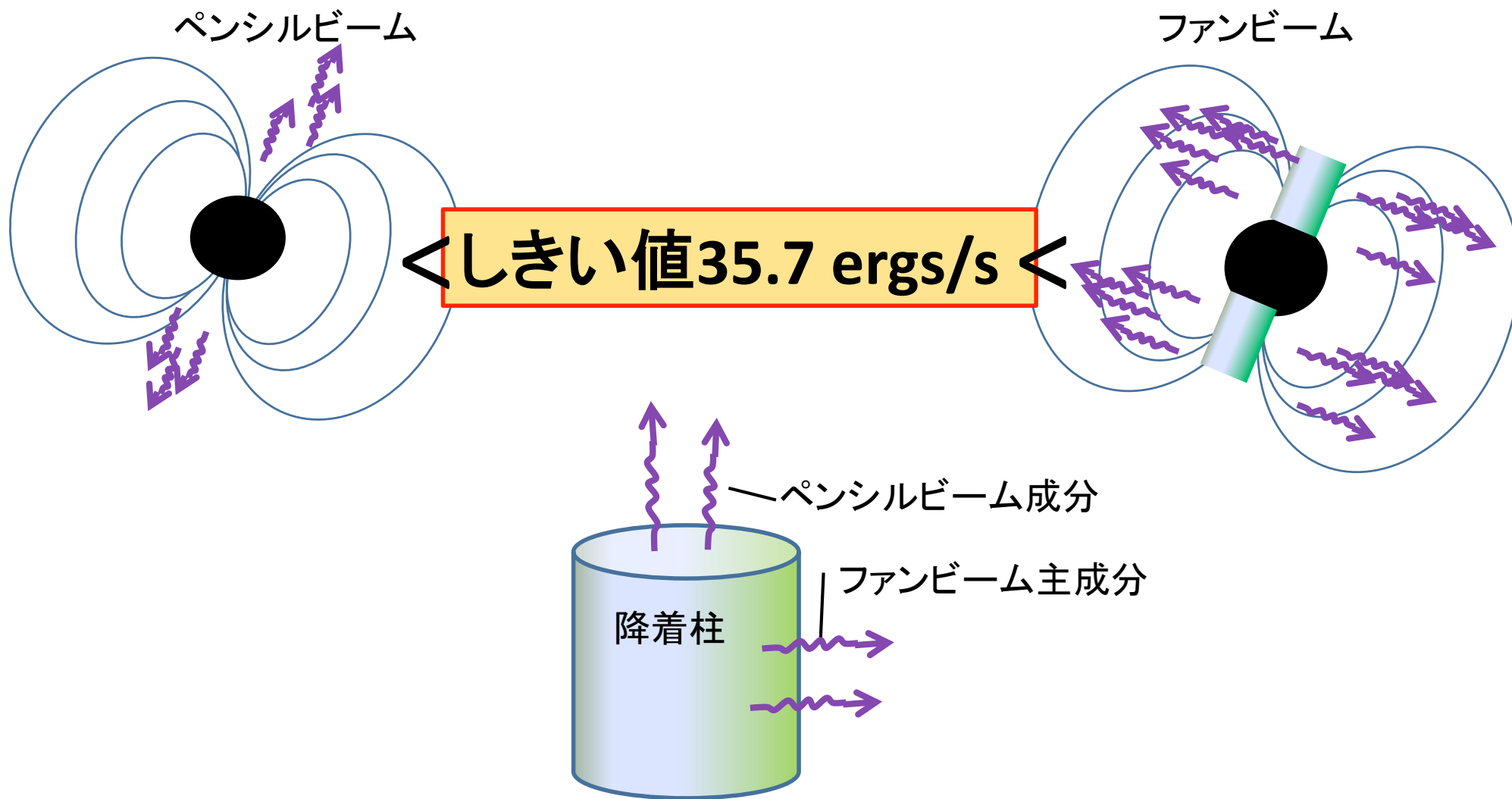
- 結論から言うと一つ目のプリカーサは光度をピークの光度と比較したとき、ペンシルビームを出す光度とファンビームを出す境目となる光度をまたいでいるので、プリカーサのときにペンシルビームでメインのアウトバーストのときにファンビームを放射しているという描像が確からしいと考えられる。
- プリカーサの光度が35.7の境目を越えなければペンシルビームが見えているということになるが、ピークとの差が35.7の境目をまたいでいる
- ファンビームらしいものであれば描像がそれらしいものであると示唆される。ペンシルビームはコラムが伸びていない状態の磁極からの放射でありこれが35.7の光度を持つ。ファンビームは磁極からコラムが伸び、その側面からの放射がペンシルビーム分の光度に加わったものである。
- ファンビームとペンシルビームの境目の35.7という値は磁気軸にそった降着流とつりあっているFluxとして定義されていて、中性子星の表面と垂直に放射される成分である。

示唆される描像

観測データ

アウトバーストのピークの光度: $\log(L_x) = 37.4$ ergs/s

プリカーサのからの光度: $\log(L_x) = 35.2$ ergs/s



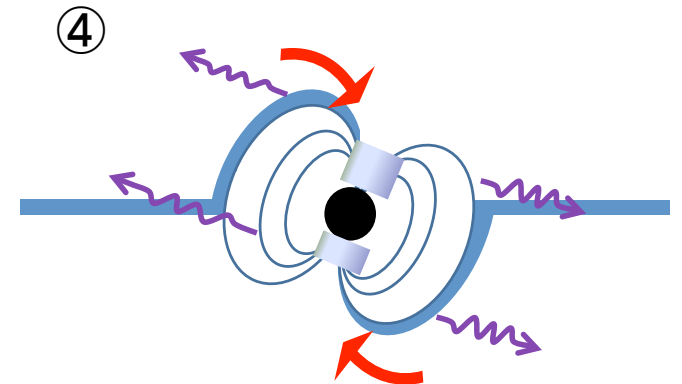
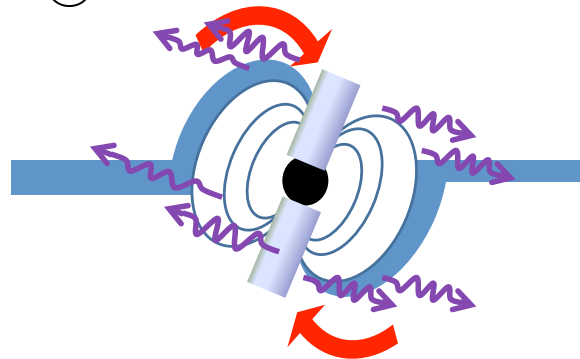
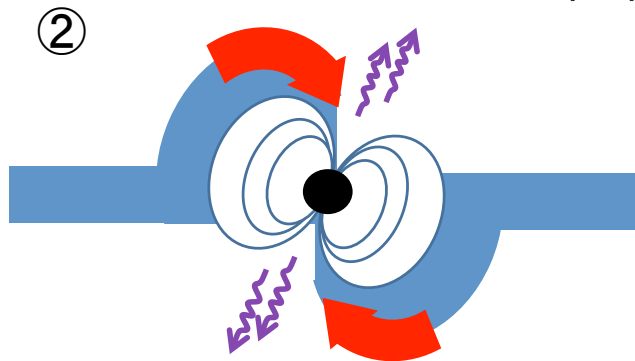
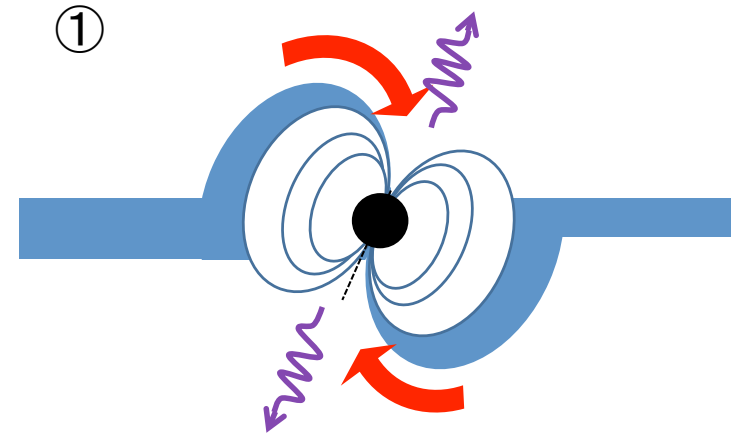
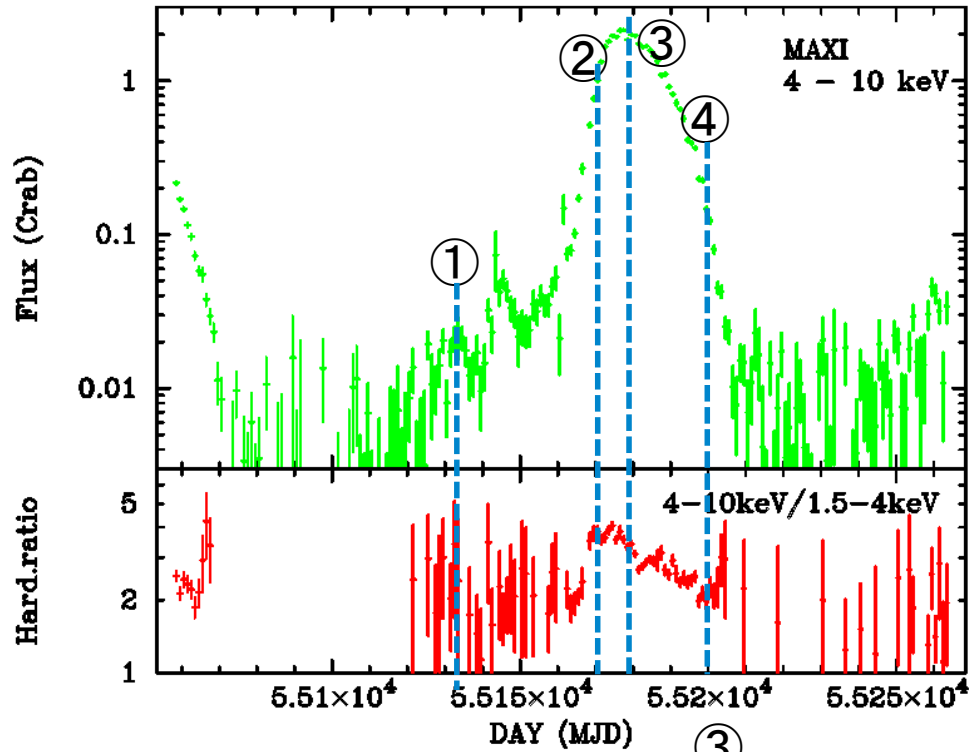
示唆される描像

- スペクトルから求めた光度と硬度比から考えられるのはこの図に示すような描像です。
- 1に示したようにまず中性子星がBe型星の星周円盤につっこみガスを巻き込んで降着円盤を構成しガスの温度が上がります。
- 次に2にのように降着円盤への流れが多くなってきたときにペンシルビームが増加します。このとき中性子星の表面付近からの光であるためハードな成分が観測されます。
- 次に3で降着流によって降着柱が伸びその側面からでるファンビーム成分が増加します。
- 次に4で降着流が減少して降着柱が短くなり高度が減少していきます。

この様に1、2、3、4の流れのような描像であることが示唆されます。

示唆される描像

A0535+262



まとめ

- A0535+262の長期間の連続観測を行った
- 軌道周期111日からのズレがどのようなものであるのかを調べた
- 2009年12月のアウトバーストからX線連星パルサーからプリカーサが初めて観測された。
- 光度曲線、硬度比から中性子星の放射の描像が示唆される
- 最近また増光していて100mCrabを超えている

最近のアウトバースト

最近観測されている増光

