

# すざく衛星による大質量 X 線連星系 AX J1841.0-0536 の観測

河島久実子

平成 23 年 8 月 31 日

## 1 導入

### 1.1 大質量 X 線連星系と SFXT

大質量 X 線連星系 (HMXB) とは、中性子星やブラックホールといったコンパクト天体と、大質量星との連星系である。そのうちの多くは、数週間から数ヶ月続くアウトバーストを起こす。

最近、INTEGRAL 衛星のモニター観測により、これまでと特徴の異なる大質量 X 線連星系が発見された。それは OB 型の超巨星の伴星を持つものの一部で、Supergiant Fast X-ray Transient (SFXT) と呼ばれている。これらの天体は非常に早い時間変動が特徴で、数分から数時間程度という非常に短いフレアを起こし、光度は 3-5 桁変化する。

### 1.2 SFXT の放射機構

通常の大質量 X 線連星系の多くは、大質量星のまわりに円盤状の星風ができ、そこを中性子星が横切るとき X 線の光度が大きくなる (図 1)。また、大質量星から等方に強い星風が出ているような連星系では、つねに降着が起きているために定常的に X 線光度が大きく、めったに時間変動は起きない。いずれの場合でも、SFXT に見られる早い時間変化は説明できない。

SFXT の X 線放射機構として考えられているモデルの一つは、clumpy wind モデルである [1] [2] [3]。このモデルは、超巨星からの星風の密度にムラがあり、濃い星風のかたまりが中性子星に降着することで、早い時間変動と大きな光度変化がおきるのではないかというものだ。もう一つのモデルは、Magnetic gating モデルと呼ばれている [4] [5]。こ

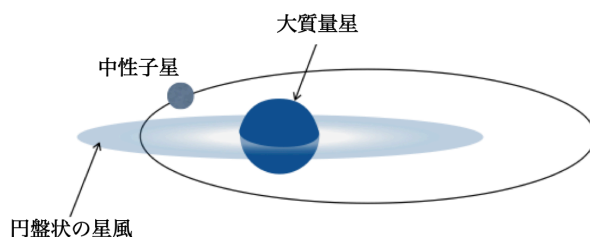


図 1: 周りに円盤状の星風を持つ大質量星と中性子星の連星系。

れは、中性子星の性質やスピンの速さ、また磁場の強さがある条件になったときにだけ、ガスが降着するという説である。どちらのモデルもまだ決定的なモデルではなく、SFXT のさらなる観測によるモデルの制限が必要とされる。

### 1.3 AX J1841.0-0536

我々がすざくで観測した AX J1841.0-0536 (以下、AX J1841) は SFXT に最初に分類された天体の一つである [6]。

AX J1841 は 2001 年にあすか衛星によって発見され、立ち上がり 1 時間程度という短いフレアが観測された [7]。またこの観測で、4.7 s のスピン周期も発見されている。

図 2 はあすか衛星が観測した AX J1841 のスペクトルである。スペクトルは、べき関数と中性鉄からの輝線に、星間物質による吸収をかけたモデルでフィットできた。フィットの結果、星間物質の密度は  $N_H = 5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 、べき関数の指数は  $\Gamma \sim 1$  と求まった。

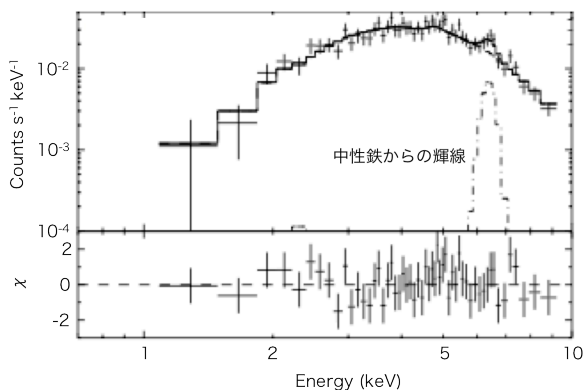


図 2: あすか衛星が観測した AX J1841.0-0536 のバックグラウンドを引いたスペクトル。 [7]

さらに最近 Bozzo らが、XMM-Newton 衛星を使って AX J1841 の大きなフレアを観測した [8]。図 3 は XMM-Newton の観測結果である。横軸が時間で、縦軸は一番上のパネルが吸収柱密度、真ん中のパネルはベギ、そして一番下のパネルは X 線のフラックス (1-10 keV) を示している。フレアが減衰するにつれ、吸収柱密度は増加しているが、ベギは一定になっていることが分かる。Bozzo らは、フレアの減衰時における吸収柱密度の増加が、大質量星からのガスの塊が降着したことを示唆しており、clumpy wind モデルを支持するものであると主張している。しかし、XMM-Newton の観測では 10 keV 以上でスペクトルが未測定である。AX J1841 はさらに高エネルギー領域まで放射していることが別の観測で分かっているため [9]、広帯域で同時観測する必要がある。

そこで我々はすざく衛星による AX J1841 の観測を行った。

## 1.4 すざく衛星

すざく衛星は日本で 5 番目の X 線天文衛星である。

搭載されている機器の一つに、XIS と呼ばれる X 線 CCD カメラがある。これは 0.2-10 keV まで観測可能で、エネルギー分解能がよく、有効面積が大きいこと ( $1000\text{cm}^2@1.5\text{keV}$ ) が特徴である。また HXD/PIN と呼ばれる硬 X 線検出器 (PIN 型半導体検出器) は 15-70 keV まで観測可能である。

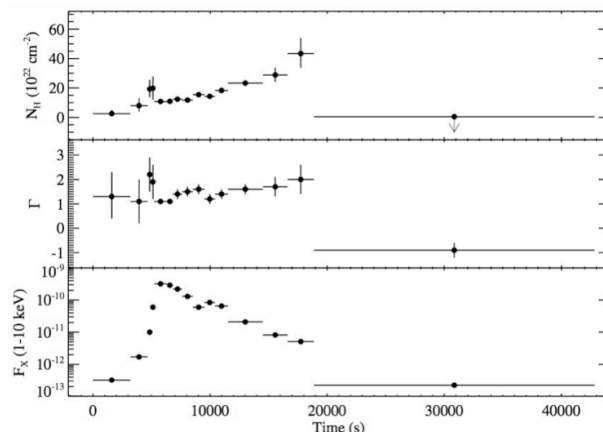


図 3: XMM-Newton の観測による吸収柱密度 (一番上のパネル)、ベギ (真ん中のパネル) およびフラックス (一番下のパネル) の時間変化。 [8]

つまり、すざく衛星によって 0.2-70 keV までの広帯域同時観測を行うことができる。また有効面積が大きいので、SFXT のように 1 時間程度の速い時間変動を観測する際も、統計の良いデータを得ることができる。

## 2 すざく衛星による AX J1841.0-0536 の観測結果

### 2.1 X 線イメージ

図 4 はすざく衛星による X 線イメージで、左側のパネルは 0.5-2.0 keV、右側のパネルは 2.0-8.0 keV のバンドで見たイメージである。一番明るい天体が AX J1841 である。明るいために広がって見えている。この天体を解析する際には図中に示した青色の円で囲んだ領域を解析した。バックグラウンドは、宇宙 X 線背景放射や銀河面からの X 線放射の影響が AX J1841 と同じ程度になるように、AX J1841 の近くの緑色の円で囲んだ領域を選んだ。

### 2.2 ライトカーブ

図 5 はすざく衛星の観測した AX J1841 のライトカーブである。バックグラウンドは引いている。ところどころデー

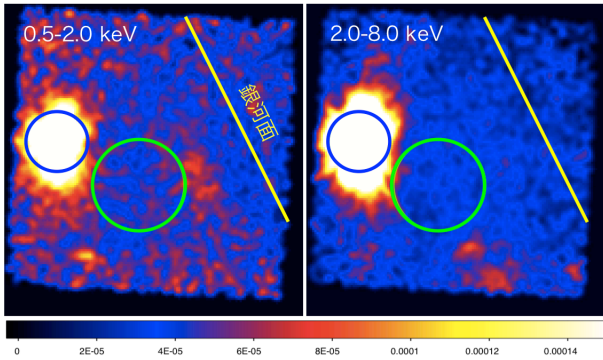


図 4: すざく衛星で観測した AX J1841.0-0536 の X 線イメージ。vignetting は補正してある。一番明るい天体が AX J1841.0-0536。青色の円で囲んだ領域を天体の領域として解析した。バックグラウンドは緑色の円で囲んだ領域を選んだ。

タが抜けているのは、すざくから見て、AX J1841 が地球の陰に隠れているためである。一番上のパネルと真ん中のパネルはそれぞれ、XIS による 0.5-4.0 keV と 4.0-10 keV のエネルギーバンドでのライトカーブである。一番下のパネルは、HXD による 15-30 keV のエネルギーバンドでのライトカーブである。すべてのエネルギーバンドで激しい時間変動を観測した。また観測時間が  $8.5 \times 10^4$  s から  $9.0 \times 10^4$  s のところでは、明るさが 100 倍の大フレアを観測できた。

大フレアの時間帯を拡大すると、図 6 となる。一番上のパネルと真ん中のパネルはそれぞれ、XIS による 0.5-4.0 keV と 4.0-10 keV のライトカーブである。一番下のパネルは 4.0-10 keV のカウント数に対する 0.5-4.0 keV の比を取った Hardness Ratio で、この値が大きいほど高エネルギー X 線の割合が多いことを示している。図 6 から、フレアが減衰するときに突然 Hardness Ratio が大きくなっていることが分かる。

ここまで XIS と HXD のデータからライトカーブを見てきたが、ここからは XIS のデータを使ってスペクトル解析を行う。その際、図 5 および図 6 に示したように、観測時間を 7 つの phase (phase A ~ phase G) に区切り、スペクトルにどのような変化が見られるか調べた。

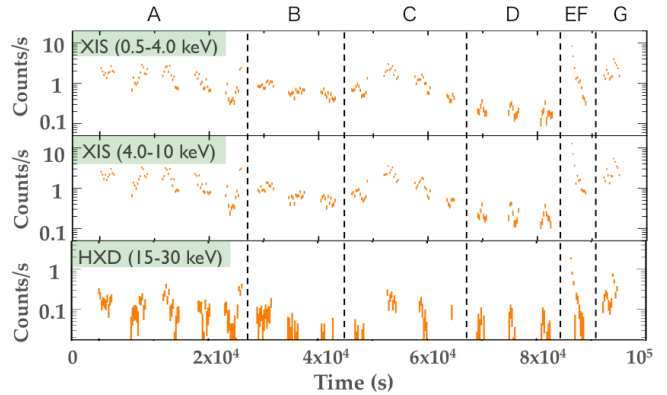


図 5: すざく衛星で観測した AX J1841.0-0536 のライトカーブ。バックグラウンドは引いてある。

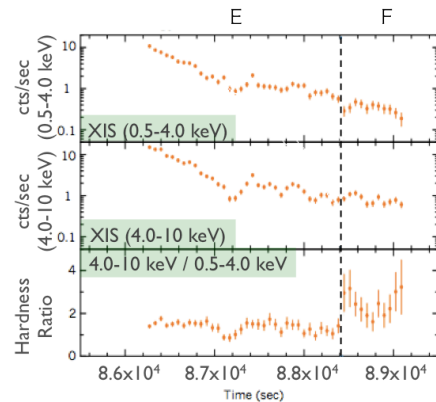


図 6: すざく衛星で観測した AX J1841.0-0536 の大フレアでのライトカーブと Hardness Ratio。バックグラウンドは引いてある。

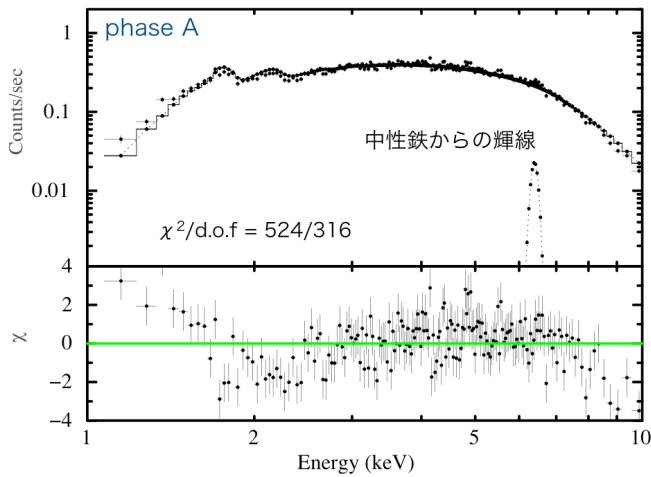


図 7: すざく衛星で観測した AX J1841.0-0536 のスペクトル。モデルはべき関数と鉄輝線に吸収をかけたもの。

### 2.3 スペクトル解析

図7はすざくによるスペクトルである。例として phase A のスペクトルを示した。フィットしたモデルはあすかのときと同じように、星間物質による吸収をべき関数と鉄輝線にかけたものである。すると、低エネルギー側でフィットが合わなかった。これは、X線がすべて吸収を受けているのではなく、部分的に吸収を受けているためと考えることができる。

そこで部分吸収を考えたモデルを入れてみると、図8に示したように、低エネルギー側でのデータとモデルの差が改善し、このモデルがよく合うことが分かった。また残りのすべての phase においても、部分吸収をかけることでフィットが改善した。

ここで部分吸収モデルとは、天体と観測者の間の星間物質だけでなく、中性子星のまわりにも星周物質があると考え、中性子星が覆われている割合  $f$  ( $0 < f < 1$ ) と物質の密度を求めることができるモデルである (図9)。このモデルでは、鉄輝線は星周物質中の鉄原子から出た蛍光 X 線と考えられる。

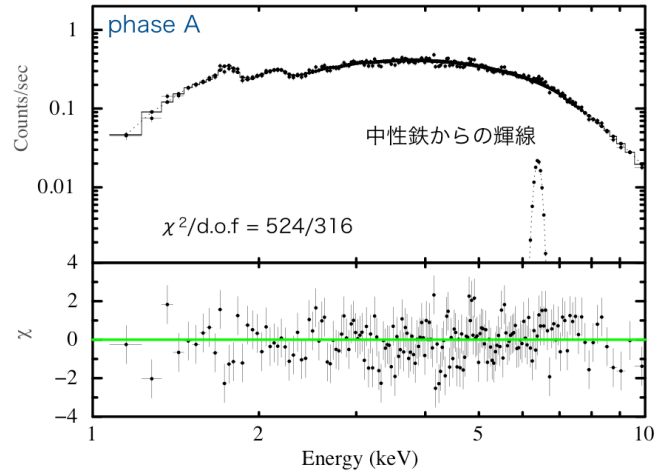


図 8: すざく衛星で観測した AX J1841.0-0536 のスペクトル。モデルはべき関数と鉄輝線に星間物質による吸収と部分吸収をかけたもの。

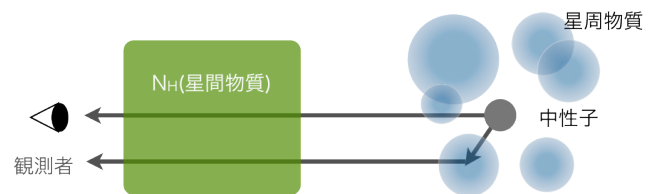


図 9: 部分吸収モデルの概念図。

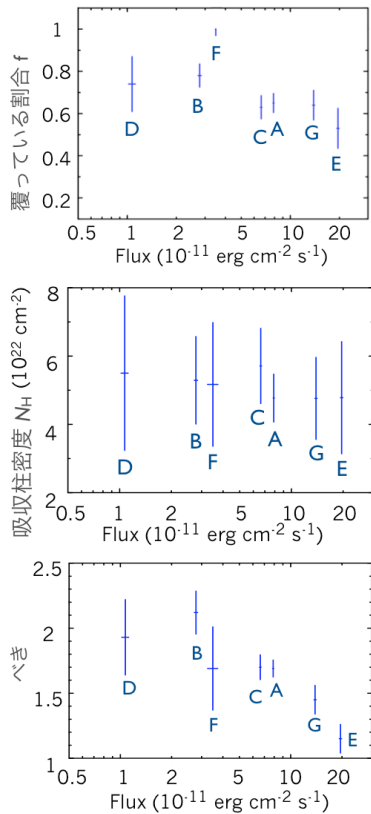


図 10: 各パラメータのフラックス依存性。3つのパネルの縦軸はそれぞれ上から、星周物質が中性子星を覆っている割合、星周物質の吸収柱密度、べき。

## 2.4 フィッティング結果

各パラメータが phase 間でどのように変化するか調べた。図 10 は、星周物質が中性子星を覆っている割合、星周物質の密度、べきがフラックスによってどう変化したかをグラフにしたものである。図中の A~G は図 5 および図 6 に示した phase の名前である。

吸収柱密度と覆っている割合には phase 間で有意な差は見られない。phase F では、中性子星を覆う割合が 0.97 以上という結果になったが、このために低エネルギー X 線の吸収量が増え、Hardness Ratio が増えたと考えられる。一方べきはフラックスが大きくなるほど有意に小さくなっている。

## 3 議論

フィッティング結果から星間吸収の密度を求めると、 $N_H = (2.18 \pm 0.07) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  となり、赤外線での観測で求めた値  $N_H = (0.97 \pm 0.64) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  [10] のおよそ 2 倍の結果になった。X 線での観測のほうが値が大きいのは、天体の周りに一様に分布しているガスの存在を示唆していると考えられる。

AX J1841 の距離は赤外線の観測から 3 kpc と求まっているので [10]、それを使って光度を求めると、 $10^{34} - 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$  という結果になった。

吸収柱密度とべきに関しては、XMM-Newton は吸収が変化してべきが変化しないという結果を出したが、すぐくでは逆の、吸収が一定でべきが変化するという結果になった。この矛盾がなぜ起きたのかは検証中である。

今後は、HXD/PIN のデータも使って 10 keV 以上も含めた広いバンドでスペクトル解析を行い、放射機構の解明を行う予定である。

## 参考文献

- [1] in't Zand, J.J.M., 2005, A&A, 441, L1
- [2] Walter, R., & Zurita Heras, J., 2007, A&A, 476, 335
- [3] Negueruela, I., et al. 2008 AIPC, 1010, 252
- [4] Grebenev, S.A., Sunyaev, R.A., 2007, AstL, 33, 149
- [5] Bozzo, E., et al. 2008, ApJ, 638, 1031
- [6] Negueruela, I., et al. 2006, Proceeding of The X-ray Universe 2005
- [7] Bamba, A., et al. 2001, PASJ, 53, 1179
- [8] Bozzo, E., et al. 2011, A&A, 531, 130
- [9] Romano, P., et al. 2011, MNRAS, 412, 30
- [10] Nespoli, E., et al. 2008, A&A, 486, 911