

全天X線監視装置MAXIによる Be型X線連星パルサーの観測

高木利紘 (日大/理研)

三原建弘、山本堂之 (理研)、中島基樹 (日大)

and MAXI team

本日の話

- Be型X線連星パルサー
- MAXIによるBe型X線連星パルサーの観測

2012/8/3 夏の学校 (in 三国観光ホテル)

上のスライドで話したこと

本日の話の流れ

第1部、Be型X線連星パルサーの概要

Be型星の性質、特徴と問題点。

中性子星と連星を組むことによってできるBe型X線連星パルサーの基本事項と連星を組むことで起こる現象の紹介。

第2部、Be型X線連星パルサーの観測

MAXIを用いたX線光度の観測から推測できるBe型星の周りにおける星周円盤の密度と可視光モデルから求めた星周円盤の密度についての話し。

Be型星

星周円盤の密度がよくわかっていない...

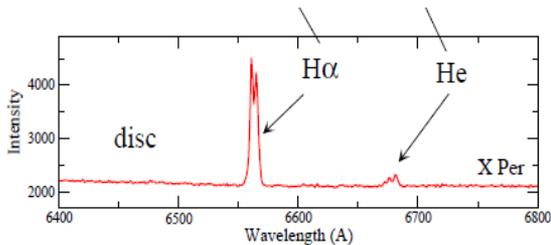
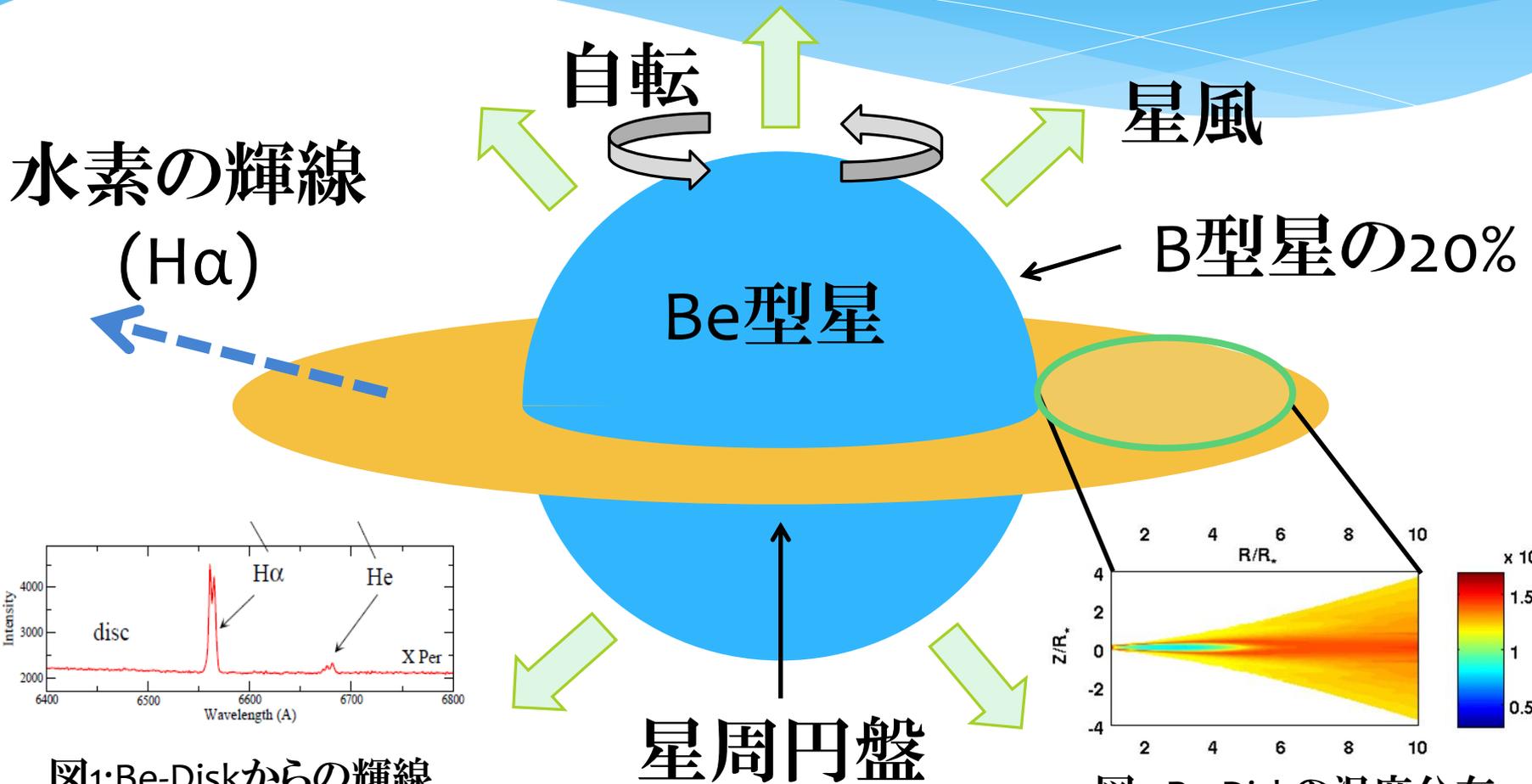


図1: Be-Diskからの輝線 (Reig 2011)

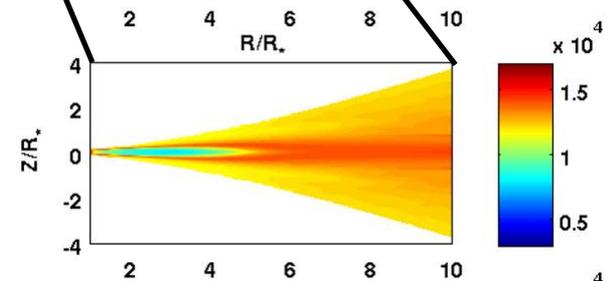


図2: Be-Diskの温度分布 (SILAJ 2010)

上のスライドで話したこと

Be型星はB型星の約20%を占めている。

赤道面上にはケプラー回転をしている星周円盤があり、水素の輝線を放射する。

水素の輝線を一度でも放射したことがあるということが添え字eの定義になっている。

この図1は、星のスペクトルを表しており、鋭く立っているのがH α 線で、先の部分がダブルピークになっている。これから星周円盤の半径がわかる。

星周円盤には粘性があり、Be型星が自転することで星周円盤に角運動量が伝わり、外側に広がっていくと考えられる。

上のスライドで話したこと2

自転がとても速く、critical velocityの70-90%で自転しており、多くは90%近くになっている。

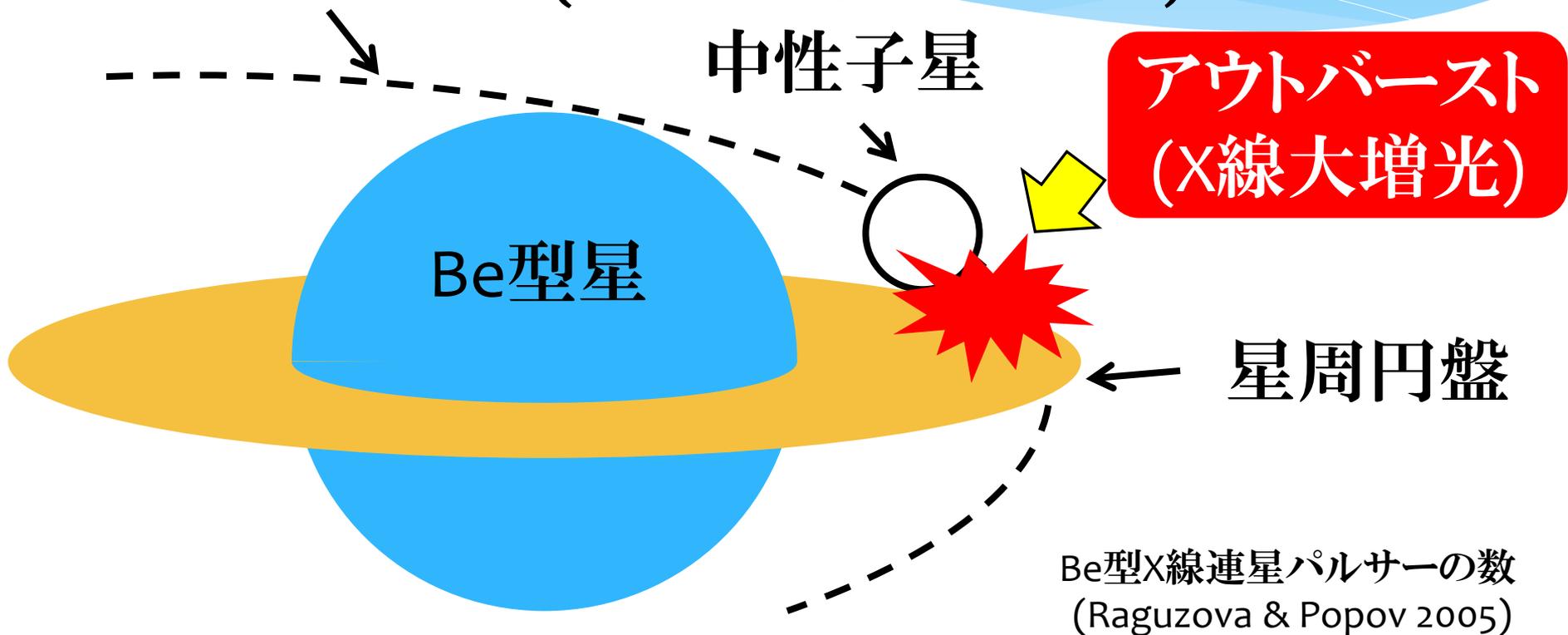
星風も強く吹いており、質量放出で星周円盤にガスが供給されていると考えられている。

この図²は星周円盤の断面の温度分布のシミュレーション結果を表している。星に近いところは円盤が薄くなっており、外側はめくれ上がっている。Be型星にはわかっていないことがあり、その例として星周円盤の生成過程や構造があげられる。本講演では、星周円盤の密度の問題を取り上げ、密度の推定を行う。

Be型X線連星パルサー

アウトバーストを観測すると密度が求められる！

中性子星の軌道(周期:数十~数百日)



Be型X線連星パルサーの数
(Raguzova & Popov 2005)

大質量X線連星系の70%以上で銀河系内に50個ある

上のスライドで話したこと

Be型X線連星パルサーは大質量X線連星系の70%以上を占めており、銀河系内に50個ほど存在している。SMCには70個、LMCにも10個ある。

軌道周期は数十日～数百日、楕円軌道となっていて、離心率が大きいものが多い。

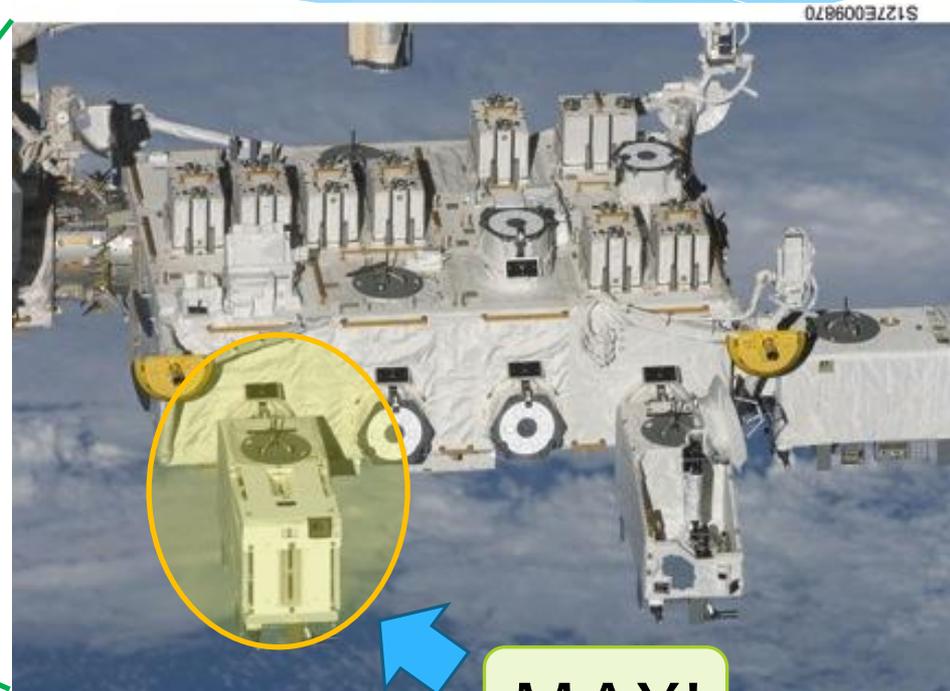
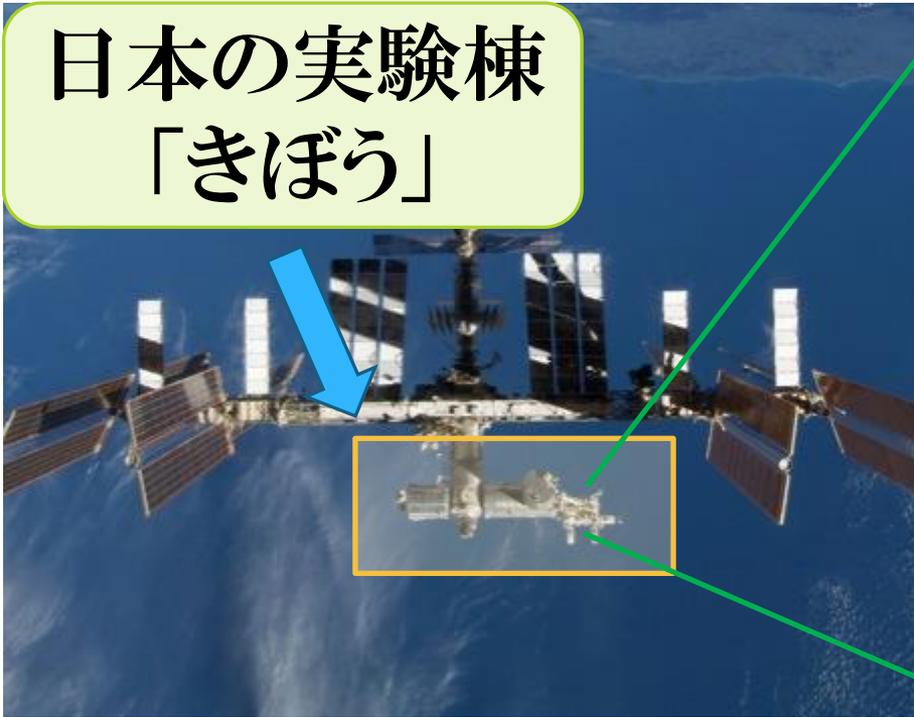
中性子星が円盤に衝突すると、X線による大增光、アウトバーストと呼ばれる現象が起こる。

このX線の増光の観測を行うことで、中性子星に落ちる物質の質量を求めることができ、質量降着のモデルを仮定してあげると密度を推定することができる。

全天X線監視装置MAXI

国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームに搭載されているMAXI

日本の実験棟
「きぼう」



MAXI

図3:国際宇宙ステーションとMAXI (NASA)

上のスライドで話したこと

X線の増光を観測する装置として用いるのが、全天X線監視装置MAXI。

MAXIは国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームに搭載されており、国際宇宙ステーションとともに92分で地球の周りを一周することで、全天をくまなく観測している。

常に92分で全天を観測しているので、突発天体の発見や変動などを観測するのに適している。

MAXIに搭載されているX線検出器

全天X線監視装置MAXI

(Monitor of All-sky X-ray Image)

92分で全天を見渡す

GSC

(Gas Slit Camera)

比例計数管の検出器。
エネルギー帯: 2-20keV



図4:GSC
(JAXA)

SSC

(Solid-state Slit Camera)

CCD素子の検出器。
エネルギー帯: 0.5-12keV



図5:SSC
(JAXA)

上のスライドで話したこと

MAXIには、2つの検出器が搭載されている。

一つは比例計数管を用いた検出器で2-20keVのエネルギー帯を観測している(GSC)。

もう一つはCCD素子を用いた検出器で0.5-12keVのエネルギー帯を観測している(SSC)。

本講演のBe型X線連星パルサーの観測ではGSCを用いている。

MAXIによるBe型X線連星パルサーの観測

MAXIの観測

25個の
Be型X線連星パルサー



アウトバーストの観測

13天体から
35回のアウトバースト

※最新の数は、14天体から39回のアウトバーストを観測している

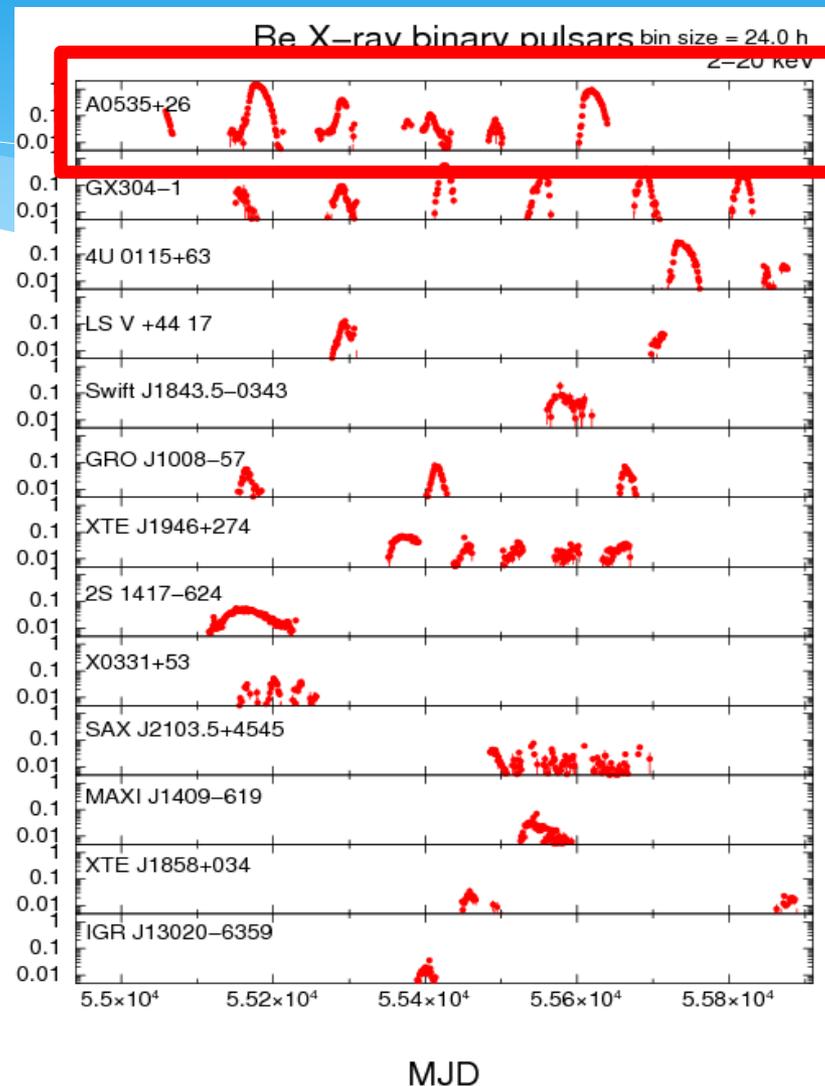


図6: 観測しているBeXBのLC (Saotome 2012)

上のスライドで話したこと

MAXIでは25個のBe型X線連星パルサーを観測しており、13天体から35回のアウトバーストを観測している。

最近の観測で増えたのも入れると最新の数は14天体から39回のアウトバーストとなっている。

図6は観測された各天体のアウトバーストを表している。

質量推定に用いるのは、MAXIで観測された中で一番明るいA 0535+262の観測結果である。

A 0535+262のライトカーブ

MAXIで観測されたA 0535+262のライトカーブ

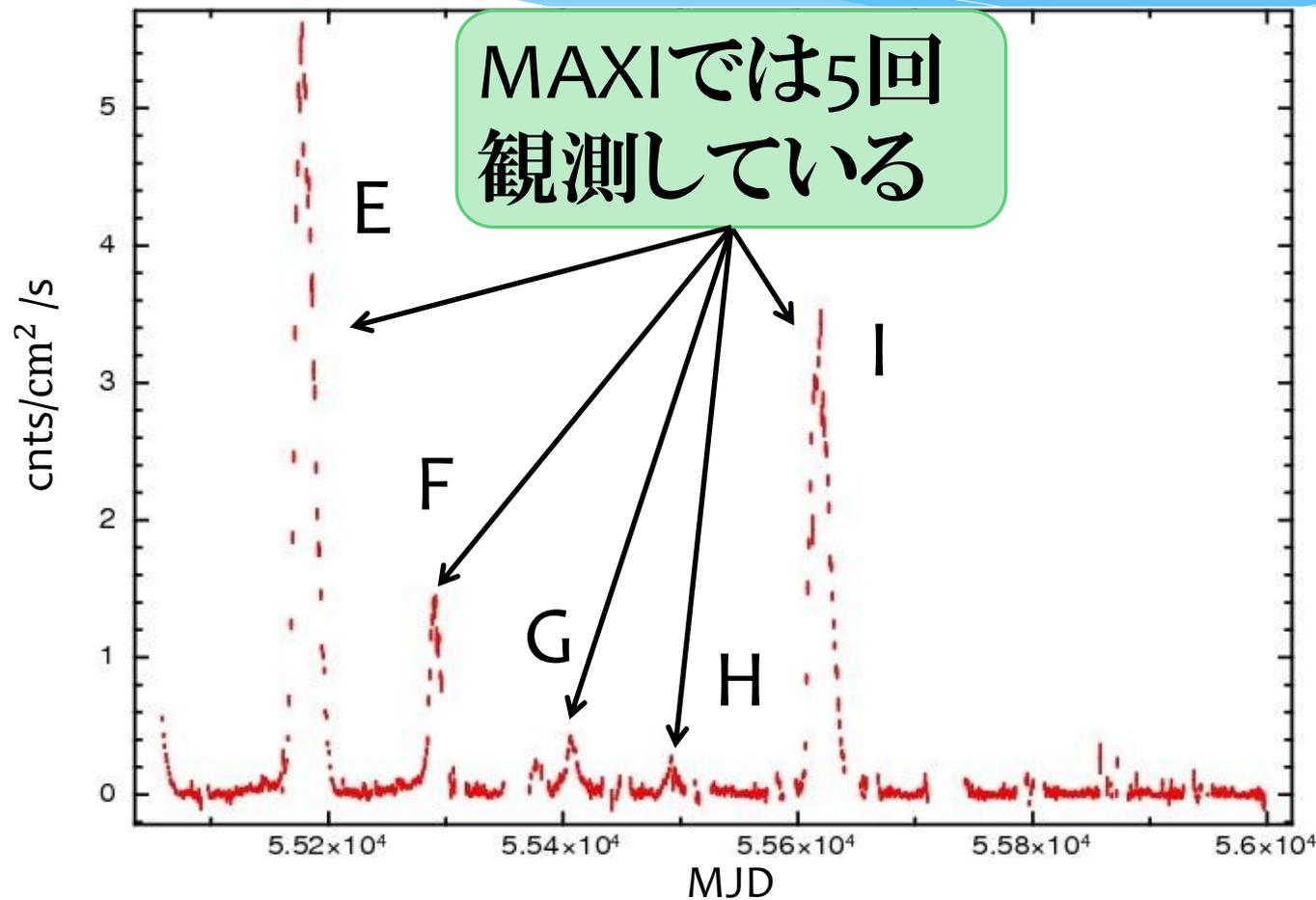


図7:MAXI/GSC のA 0535+262のライトカーブ

上のスライドで話したこと

図7がMAXIで観測されたA 0535+262のライトカーブである。

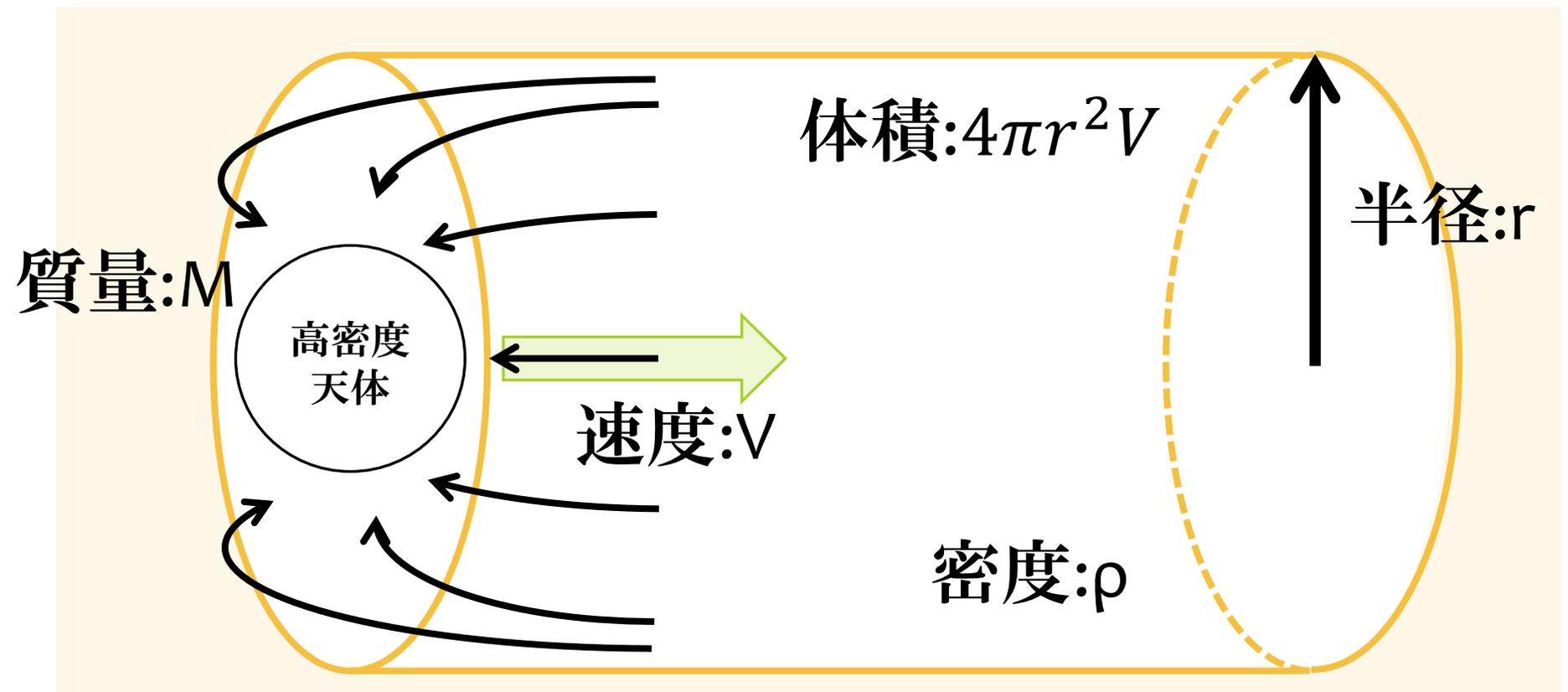
MAXIでは5回のアウトバーストが観測されている。初めの方もアウトバーストだが、終わりの方しか観測できていない。

アウトバーストにはA、B、・・・と順番に名前がつけられており、MAXIで観測されたのはE-Iのアウトバーストである。

Bondi Accretion

高密度天体に物質が落ち込むときの降着モデル

$$\dot{M} = \frac{4\pi\rho G^2 M^2}{v^3}$$



上のスライドで話したこと

質量降着のモデルとして仮定したものはBondi Accretion。

密度 ρ の空間に、高密度星が速度 v を持って侵入してきた場合を考える。

単位時間に落ち込む物質の質量は $4\pi r^2 v \rho$
半径 r は物質が高密度天体に物質が落ちる境界を表しており、この r は高密度天体が物質を引き付ける万有引力と物質が落ち込まないように働く遠心力の釣り合いに式より決定される。

これら、単位時間に落ち込む物質の質量と r の式より質量降着の式が出てくる。

MAXIの観測からの密度の推定

MAXIで観測されたA 0535+262の光度からDiskの密度の推定

観測したA 0535+262の光度 $\cong 10^{37}$ [erg/s]

$$\dot{M} = \frac{L_X r}{GM} \cong 5.3 \times 10^{16} \text{ [g/s]}$$

X線光度から
推定した密度

$$\rho = \frac{\dot{M} V^3}{4\pi G^2 M^2} \cong 1.3 \times 10^{-15} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (\text{Bondi Accretion})$$

$$(\cong 7.8 \times 10^8 \text{ [個/cm}^3\text{)})$$

($r = 10^6$ [cm], $M = 1.4M_{\odot}$, $V = 2.2 \times 10^7$ [cm/s] (軌道速度))

上のスライドで話したこと

Bondi Accretionを用いたX線光度からの密度の推定。

単位時間に中性子星に落ち込む質量は上の式で表される。

L_x がA 0535の光度、 r が中性子星の半径、 M が中性子星の質量、 G は重力定数。

計算すると $5.3 \times 10^{16} [\text{g/s}]$ となる。

$\rho =$ で書き直したBondi Accretionに代入する。

v は中性子星の軌道速度、 G と M は上の式と同じ。

下に書いてあるのが個数密度に直したものである。

可視光モデルからの密度の推定

A 0535+262のDiskの密度の推定

可視光モデルから推定した密度

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{R}{R^*}\right)^{-n} e^{-\left(\frac{Z}{H}\right)^2} \cong 3.0 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3] (\text{SILAJ 2010})$$

$$(\cong 1.8 \times 10^9 [\text{個/cm}^3])$$

$$(\rho_0 = 1.0 \times 10^{-11} [\text{g/cm}^3], n = 3.5, \frac{R}{R^*} = 10.2, Z = 0 (\text{Disk面上}))$$

上のスライドで話したこと

可視光モデルからのA 0535の星周円盤の密度の推定。

推定に用いる式はSILAJ2010に載っている式。

ρ_0 はBe型星近傍の星周円盤の密度、 R は近星点距離、 R^* はBe型星の半径、 n は距離に従って減っていく密度のべき乗、 z は赤道面からの距離、 H は R の関数となっている。

赤道面上を中性子星が通過すると仮定する($z=0$)。

ρ_0 と n はSILAJ2010で用いられている値の中から、典型的な値と考えられる数値を用いた。

下に書いてあるのが個数密度に直したものである。

MAXIを用いたBe-Diskの密度の推定

観測での推定

$$\rho \cong 1.3 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3]$$

モデルでの推定

$$\rho \cong 3.0 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3]$$

大体等しい

MAXIの観測データを用いて
Be-Diskの密度が推定できる

上のスライドで話したこと

観測されたX線光度からの推定

$$\rho = 1.3 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3]$$

可視光モデルからの推定

$$\rho = 3.0 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3]$$

2つはほとんど一致した結果が得られた。

このことからMAXIの観測を用いてBe型星の星周円盤の密度の推定ができると考えられる。

まとめ

- Be型星の星周円盤の密度が求まっていない。
- 星周円盤を中性子星が突っ切るとアウトバーストが起こる。
- X線光度から密度を求められる。
- X線光度の測定にはMAXIを用いた。
- 星周円盤から中性子星への質量降着は Bondi Accretionを仮定した。
- 観測から求めた密度は $\rho \cong 1.3 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3]$
- モデルから求めた密度は $\rho \cong 3.0 \times 10^{-15} [\text{g/cm}^3]$
- 観測とモデルの値はほぼ一致した。
- MAXIを用いて星周円盤の密度を求められる。

上のスライドで話したこと

まとめは以上のようになる。

MAXIを用いた観測から十分にBe型星の星周円盤の密度の推定ができる。

問題点

降着モデルはBondi Accretionを用いたがそれでいいのか。

中性子星は星周円盤の中心を通ると仮定したがそれでいいのか。このほかにも考慮しなければいけない問題がある。