

# MAXIによるAGNの長期変動観測

杉本樹梨(理研/立教大)

## 1 序論

銀河の中には、銀河中心部の非常に狭い領域から銀河全体に匹敵するようなエネルギーを放射しているものがある。その放射は非常に広い波長帯にわたる。このような激しい活動性を示す銀河中心部領域を活動銀河核 (AGN ; Active Galactic Nuclei) と呼ぶ。その正体は、巨大質量ブラックホールに落ち込む降着円盤だと考えられている。

本研究では、MAXI の観測によりAGN の一種であるセイファート銀河のX線強度変動を調査し、中心に存在すると言われている巨大ブラックホール(BH)の質量を推定することを目的としている。

## 2 全天X線監視装置「MAXI」

全天X線監視装置「MAXI」(=Monitor of All-sky X-ray Image) は2009年7月16日に打ち上げられ、国際宇宙ステーション(ISS ; International Space Station) の日本実験棟「きぼう」船外プラットフォームに設置された。一周92分で周回するISSに搭載することにより、絶えず全天を見張る観測が可能となった[2]。突発的に出現した天体は、発見と同時にインターネットを通じて速報され、世界中の望遠鏡により即座に詳しい追跡観測が促されている。

MAXI は2種類のスリットカメラ(GSC, SSC)の組み合わせにより、0.5~30 keVまでの広い波長領域で観測し、X線によるカラー撮影を行うことができる[3]。これまでの全天X線観測装置は、主に我々の銀河系内の活動的な天体を観測してきた。これに対してMAXIは、高感度のカメラによって銀河系外で起きている天体活動や活動銀河の分布や履歴を調べることができる。

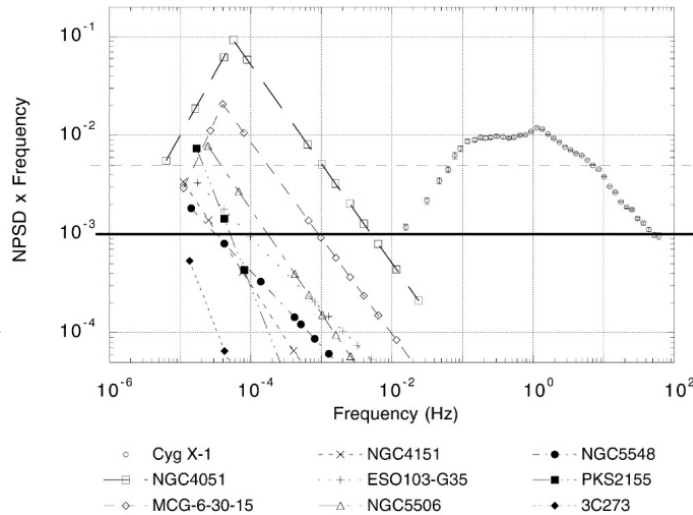
MAXI が観測を開始してから約3年が経過した今、新しい研究対象の一つとしてAGN(活動銀河核)の長期変動の調査をする時期にきている。

## 3 X線変動質量推定法

中心の巨大BHの質量を求める方法はいくつかあるが、本研究ではX線変動質量推定法を用いる。

AGNのX線強度変動の時間尺度は中心巨大BHの質量に比例すると考えられる。BHのX線データのパワースペクトル(PSD)には、特徴的な折れ曲がりが見られる。その折れ曲がり周波数を、質量が既知であるBHと比較し、スケーリング則( $t \propto M_{BH}$ )を仮定することで、中心BHの質量を推定する。

Hayashida et al. (1998)では、規格化したパワースペクトルを用い、質量が既知である恒星質量BH白鳥座X-1と8個のAGNを比較している[1]。図1にHayashida et al. (1998)の図“NPSD×frequency”を示す。同論文では、Normalized PSD (NPSD)を次のように定義している。



$$P(f) = \frac{1}{(\bar{s})^2} \left[ a^2(f) + b^2(f) - \frac{1}{n} \{ \sigma_{stat}^2 + \sigma_{sys}^2(f) \} \right] T \quad (1)$$

$$a(f) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} s_j \cos(2\pi f t_j), \quad b(f) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} s_j \sin(2\pi f t_j)$$

ここで、 $s_j$  は  $t_j$ (s)でのソース計数率(counts/s)、 $\bar{s}$  はソース計数率の平均値、 $\sigma_{stat}^2$  は計数統計におけるポワソンエラー、 $\sigma_{sys}^2(f)$  は系統的な観測器由来の変動である。

そしてNPSD×frequencyの値が $10^{-3}$ 、 $5 \times 10^{-2}$ をとる周波数から、質量が未知である6個のセイファート銀河のBH質量を $10^6 \sim 10^7 M_{\odot}$ と求めている。

## 4 解析方法

### 4.1 解析データ

MAXI で観測されたAGN のカタログ” Cataloged sources in the MAXI survey” [4] には、セイファート銀河とBL Lac 及びBlazar 天体のX線観測データがある。MAXI ホームページ(<http://maxi.riken.jp/>) より、解析対象天体のGSC (Gas Slit Camara ) によるデータをダウンロードした。GSC の観測データは表1 のようにエネルギー帯で分けられている。

全帯域	2 – 20 keV
低帯域	2 – 4 keV
中帯域	4 – 10 keV
高帯域	10 – 20 keV

表1 : MAXI/GSC の観測しているエネルギー帯域

### 4.2 パワースペクトルの導出

規格化したパワースペクトルの導出は、Hayashida et al. (1998) より(1)式を参考に、以下の式で求めた。

$$\begin{cases} F_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cdot \cos(2\pi f t_i) \\ F_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cdot \sin(2\pi f t_i) \end{cases}$$

$$NPSD = \frac{T}{2 \cdot (\bar{y})^2} (F_c^2 + F_s^2)$$

$$\Delta NPSD = \sqrt{\sum_{i=1}^N (F_c \cdot \cos(2\pi f t_i) + F_s \cdot \sin(2\pi f t_i))^2 \cdot (\Delta y)^2} \cdot \frac{T}{(\bar{y})^2} \quad (2)$$

ここで、 $y_i$  は強度 (counts/s/cm<sup>2</sup>)、 $\bar{y}$  は平均強度 (counts/s/cm<sup>2</sup>)、 $N$  はデータ数 (個)、 $f_i$  は周波数 (Hz)、 $t_i$  は時間 (s) である。規格化したパワースペクトル (NPSD) を求めるために、PSD を  $\bar{y}$  で割った。

## 5 解析結果

### 5.1 白鳥座X-1

質量推定で比較基準となる白鳥座X-1 のNPSD を求め、先行研究の値と比較した。結果を図2 に示した。図2 中の直線は、Hayashida et al. (1998) の値、破線はReig et al. (2002) の値である。点線は、べき-1 のモデルを表す。

論文値と比較すると1桁ほど小さい値となっている。

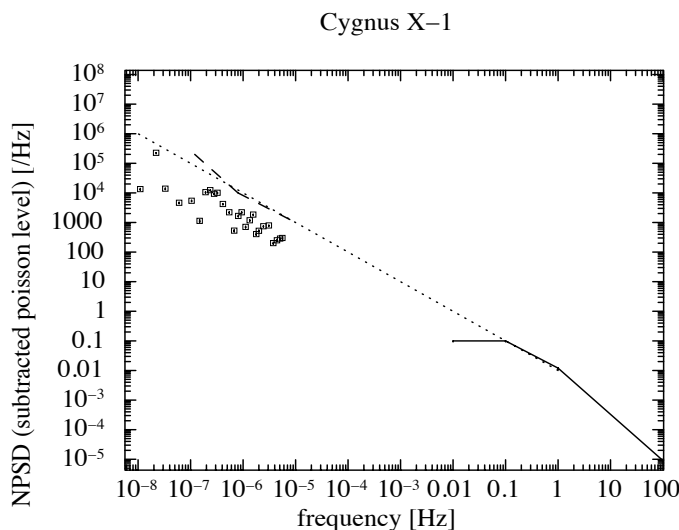


図2 : Cygnus X-1のNPSD。破線は論文値 Reig et al. (2002) [5]。直線はHayashida et al. (1998) [1]。点線はべき-1。

## 5.2 MAXI が観測しているセファート銀河のNPSD

MAXI が観測しているセファート銀河20 個のNPSD を取得し、その有意性を調査した。セファート銀河20 個のリストを表2 に示した。このうち、5 天体から有意なNPSD が得られた。

MAXI が観測しているセファート銀河リスト		
Centaurus A	NGC 2110	NGC 3227
NGC 3516	NGC 3783	NGC 4151
NGC 5506	NGC 5548	3C 120
3C 382	3C390.3	4c +74.26
Ark 120	ESO 141-G055	MCG -0523-016
MCG +08-11-011	MCG -06-30-015	Mrk 509
IC 4329A		

表2： MAXIが観測しているセファート銀河20個

有意性が認められた5 天体のNPSD を図3 に示す。

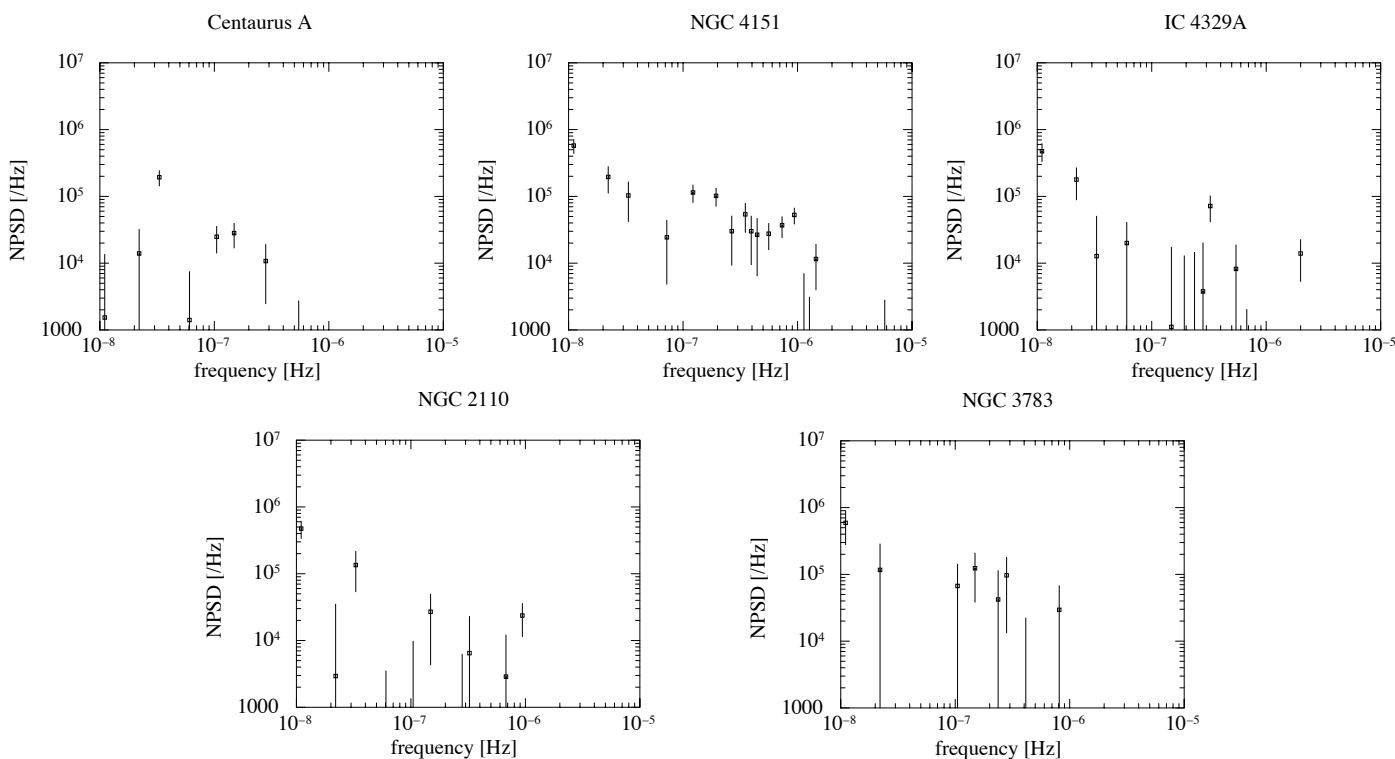


図3： MAXI が観測しているセファート銀河のうち、有意なNPSD が得られた天体

## 5.3 NGC 4151, IC 4329A

先行研究[1], [5]がされている2 天体、NGC 4151とIC 4329A のNPSD を取得し、論文値と比較した。結果を図4 に示す。

NGC 4151 は論文値と矛盾しない結果が得られた。

IC 4329A は、統計が悪いため高周波数における値にはずれがあるが、低周波数側では矛盾しない結果が得られた。

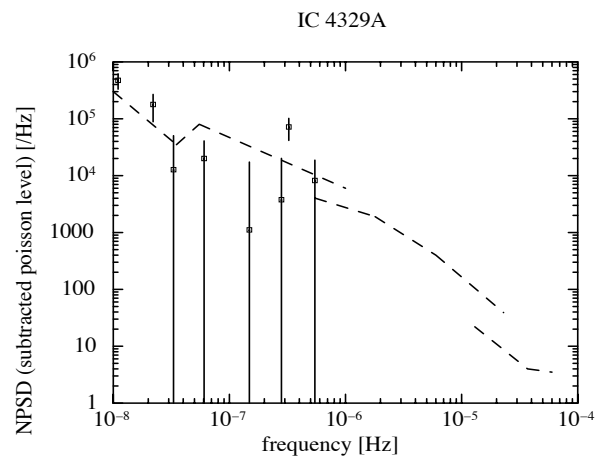
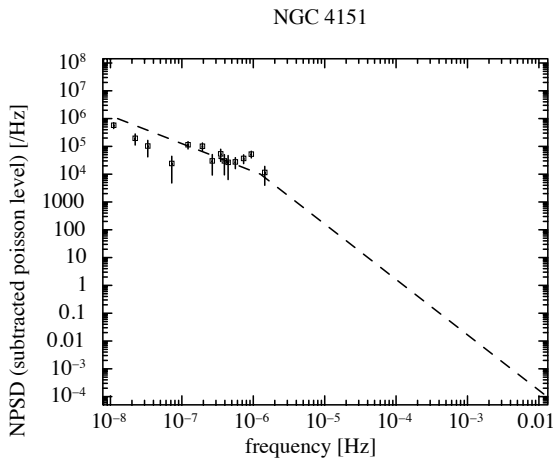


図4：(左) NGC 4151のNPSD。点線は論文値 Markowitz et al. (2003) [6]  
 (右) IC 4329AのNPSD。点線は論文値 Markowitz et al. (2009) [7]

#### 5.4 質量推定 - NGC 4151, NGC 3783

Hayashida et al. (1998) のスケーリング則を参考にし、中心BH の質量推定を行った。求めた (NPSD×frequency) と  $10^{-3}$  レベルでの交点となる周波数を、質量が既知である白鳥座X-1 と比較した。  $M_{BH}$  は以下の式より求めた。

$$M_{BH} = \frac{45.5}{f_{1e-3}} \times 14M_{\odot} \quad (3)$$

$f_{1e-3}$  は  $10^{-3}$  レベルでの周波数(Hz) である。  
 結果を図5 に示した。

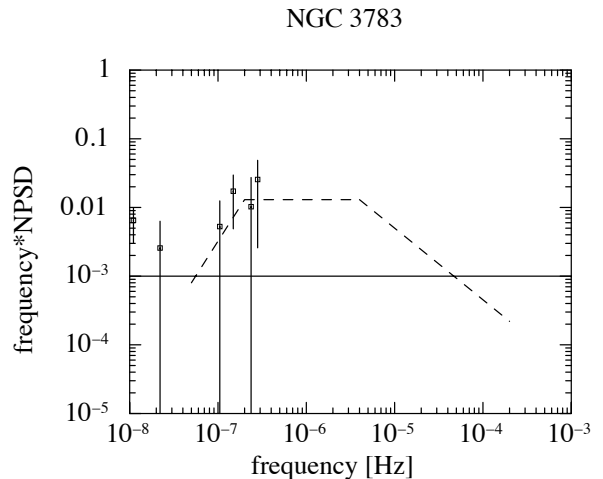
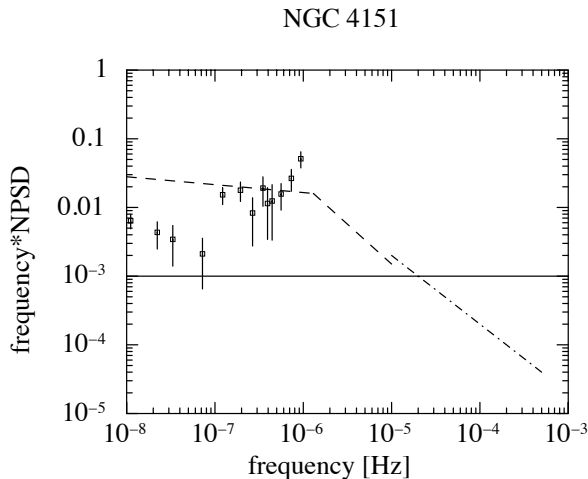


図5：(左) NGC 4151のNPSD×frequency。点線は論文値 Reig et al. (2002) [5]  
 (右) NGC 3783のNPSD×frequency。点線は論文値 Hayashida et al. (1998) [1]

#### 6 まとめ

MAXI が観測しているセファート銀河20 個のうち、5 天体から有意なNPSDが得られた。NGC 4151とIC 4329A における論文値との比較では、矛盾しない結果が得られた。有意なNPSD が得られた5 天体からNPSD×frequency を求め、(3)式より質量推定を試みた。しかし、統計が悪く、有意な点が少ないため  $10^{-3}$  レベルでの交点を求められなかった。そのため、銀河中心BH 質量を推定することはできなかった。解決のためには、さらに光子統計を上げる必要がある。

#### 参考文献

- [1] Hayashida et al., 1998, ApJ, 500, 642
- [2] JAXA HP [http://www.jaxa.jp/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/index_j.html)
- [3] MAXI HP <http://maxi.riken.jp/top/>
- [4] Cataloged sources in the MAXI survey
- [5] Reig et al. (2002)
- [6] Markowitz et al. (2003)
- [7] Markowitz et al. (2009)