パワースペクトル解析による X線天体の短時間変動と長時間変動の比較

Comparison between shot-term and long-term X-ray variabilities of black hole candidates with the power spectrum analysis

○ 本田扶紀¹, 根来均² *Fuki Honda¹, Hitoshi Negoro²

MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) is carried on the Japanese Experiment Module "Kibo" of the International Space Station (ISS). MAXI scans the whole sky every 92 minutes. Light curves of individual sources are, however, much affected by the scanning observation. Suzuki (2015) established the method of evaluating resultant power spectra correctly, and showed its usefulness for short-term X-ray variability of black hole candidates. The goal of this study is to package those programs to analyze data more efficiently, and to compare short-term and long-term variabilities of black hole candidates with the power spectrum analysis.

1 はじめに

MAXIとは ISS (国際宇宙ステーション)の日本実験棟 「きぼう」に搭載された全天 X 線監視装置である.MAXI は 92 分で地球を一周し,全天のスキャン観測を行ってい る.しかし,MAXIのデータを用いて得られるパワース ペクトルはスキャン観測の影響を受けて変形してしまい, そのままでは実際の天体のスペクトルの形状がわからな い.そのため,スキャン観測の影響を補正する必要があ る.先行研究 [1]によって,観測されたパワースペクトル を正しく評価する方法を確立し,その有用性を短時間で顕 著に変動している天体のデータを用いて確認されている. ここでは,先行研究 [1]で作成されたパワースペクトル解 析のためのプログラムをパッケージ化することで,より効 率的な解析方法を確立し,長時間での変動が顕著な天体 の解析結果との比較を行っていくことを目的としている.

2 長時間変動と短時間変動

X 線変動天体には,状態遷移による数日から数年オー ダーでの長時間変動と,数ミリ秒から数秒オーダーでの 短時間変動があり,low/hard 状態と high/soft 状態とい う 2 つの典型的なスペクトル状態がある.ブラックホー ルは降着円盤のガスを吸い込み重力エネルギーを解放し, その際,X線を放射する.そして,ブラックホールに吸 い込まれるガスの量によっていくつかの状態分けが生じ ると考えられている.それらの状態はエネルギースペク トル,パワースペクトルなどで判別することができる.降 着率が低く冷却効率が悪いときはスペクトルが硬くなり low/hard 状態となり,降着率が高くなると光学的に厚く, 低温の降着円盤がブラックホール近くまで近づき,スペク トル が軟らかい high/soft 状態となる.

3 パワースペクトル[1]

=

ある時系列データにおけるフーリエ変換は,実時間と 強度の情報を各周波数毎に振幅と位相に分ける変換である.時系列データ x(t)のフーリエ変換を $X(\omega)$ とすると フーリエ変換の式は

$$X(\omega) = \int_{\infty}^{-\infty} x(t)e^{i\omega t}dt$$
 (1)

となる.しかし,衛星の観測などによって得られたデータ は連続ではなく離散的なので,計算には離散フーリエ変 換を用いる.離散的フーリエ変換の式は

$$X_j = \frac{1}{N} \sum x_k(t_k) e^{i\omega_j t_k}$$
(2)

$$= \frac{1}{N} \sum x_k(t_k) (\cos \omega_j t_k + i \sin \omega_j t_k) \quad (3)$$

$$A_j + iB_j \tag{4}$$

$$A_j = \frac{1}{N} \sum x_k(t_k) \cos \omega_j t_k$$
$$B_j = \frac{1}{N} \sum x_k(t_k) \sin \omega_j t_k$$

¹日大理工・院(前)・物理

²日大理工・教員・物理

と表される (j = - N/2, ..., - 1, 0, 1, ..., N/2 - 1). パワースペクトルとは,周波数毎の振幅の自乗を示した 数w(t)との積で表すことができ,観測時間をTとすると もので,次のように定義される.

$$P_j = |X_j|^2 = A_j^2 + B_j^2 \tag{5}$$

先行研究[1] 4

MAXI はスキャン観測を行っているため,検出器が 向いている方向によって天体から入射する X 線の角度が 変化する.そのため X 線が検出器に入る有効面積が変化 し, 強度がそれに合わせて変化してしまう. 天体がある方 向を向いていればその天体からの入射する X 線の量は最 大になるが,天体からずれた方向を向いていれば入射す る X 線は少なくなってしまう. 例えば, sin 波のような光 度曲線(図1)は三角形の窓関数(図2)の影響を受け, 変形する(図3).そして,パワースペクトルは,その影 響を受け変化してしまう.



Figure 1: Light curve of simulation data of a sine wave function with the frequency of 0.1Hz.



Figure 2: Triangle window function.



スキャン観測の影響を受けた光度曲線は三角形の窓関 三角窓関数は

$$w(t) = \begin{cases} 1 - \frac{|-t + T/2|}{T/2} & (0 < t < T) \\ 0 & (\text{otherwise}) & (6b) \end{cases}$$

となる.データx(t)と三角窓関数w(t)のフーリエ変換を それぞれ $X(\omega)$, $W(\omega)$ とする. データと三角窓関数の積 のフーリエ変換は $X(\omega)$ と $W(\omega)$ の畳み込みで表すこと ができる.

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t)e^{i\omega t}dt = \int X(\omega')W(\omega-\omega')d\omega'$$
(7)
$$\equiv X(\omega) \cdot W(\omega)$$
(8)

鈴木は[1],スキャン観測の影響を受け変形してしまう MAXI の時系列データを用いて作成したパワースペクト ルを正しく評価する方法を確立した.さらに,スキャン観 測の影響とともに GSC の短時間変動に対する検出限界も シミュレーションにより確認されている.

今後 $\mathbf{5}$

今後は,先行研究[1]のプログラムをパッケージ化する ことで,自動で解析を行えるようにし,さらに効率的な解 析方法を確立する.その後,短時間で変動している天体の パワースペクトル解析を行ない,長時間で変動している 天体の解析結果と比較を行っていく.

長時間で変動をしている天体の解析では,1.0 × 10⁻² ~50 Hz で解析を行い,短時間変動をしている天体の解 析では 1.0 × 10⁻⁴ ~ 1.0 × 10⁻⁷ Hz でのデータを用いて 解析を行う.長時間変動での天体の解析では,状態変化毎 に解析を行うなど長期間をまとめて解析を行う.しかし, 短時間変動での天体の解析では同じ期間のデータを細か く分けて解析し,その結果を繋ぎ合せることで,長時間変 動の解析結果と比較する.

6 参考文献

[1] 鈴木和彦, 日本大学大学院 理工学研究科 物理学専 **攻 修士論文**, 2014

Figure 3: Sine wave function multyplied by the triangle window function.