

# ASCA衛星とXMM-Newton衛星、Chandra衛星の分散分光器を用いた超軟X線天体 CAL87 の分光観測

武井 大<sup>1</sup>, 海老沢 研<sup>2</sup>, 辻本 匡弘<sup>3,4</sup>, 北本 俊二<sup>1</sup>, 森井 幹雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rikkyo University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA, <sup>3</sup>Pennsylvania State University, <sup>4</sup>Chandra Fellow  
takei@stu.rikkyo.ne.jp

## Abstract

CAL87はEinstein衛星のX線サーベイ(Long et al. 1981)により大マゼラン雲で発見された、Supersoft Source(以下、超軟X線天体)と呼ばれる一群に属する白色矮星連星系である。van den Heuvel et al. (1992)により白色矮星表面で定常的に水素が燃焼している連星系のモデルが提唱され、1996年にはASCA衛星の観測から降着円盤コロナモデルを用いて詳しい解釈が成された(Ebisawa et al. 2001)。我々は2003年4月にXMM-Newton衛星搭載分散分光器を用いてCAL87の観測を行った。ASCA衛星の観測結果からCAL87のスペクトルは黒体輻射と複雑な吸収構造のモデルで説明出来ると考えられていたが、XMM-Newton衛星やChandra衛星の観測結果として窒素や酸素、鉄などの多くの輝線の存在が明らかとなった(Orio et al. 2004, Greiner et al. 2004)。以下では3つのX線天文衛星(XMM-Newton, ASCA, Chandra)による観測データを包括的に扱い、CAL87のX線放射機構について議論する。

## 1. Introduction

CAL87は白色矮星連星系であり、広がったAccretion Disk Corona(ADC)がX線を出している"ADCソース"(Fig.1)と考えられている。伴星は広がった放射領域の一部を隠し、光度曲線は広くて浅い蝕を持つ。ASCA衛星の観測結果もCAL87がADCソースであることを裏付けた(Ebisawa et al. 2001)。今回我々はASCA衛星にChandra衛星、XMM-Newton衛星の観測データ(Table 1)を加えてより詳細なプラズマ構造の解明に取り組んだ。以下では、CAL87観測で最も統計の良いデータが得られたXMM-Newton衛星の結果を主に使用する。

Table 1. CAL87の観測ログ

Project	Obs.ID	Obs. Date	Duration (s)
ASCA	44012000	1996-09-06	183407
Chandra	1896	2001-08-13	97760
XMM-Newton	153250101	2003-04-18	78614

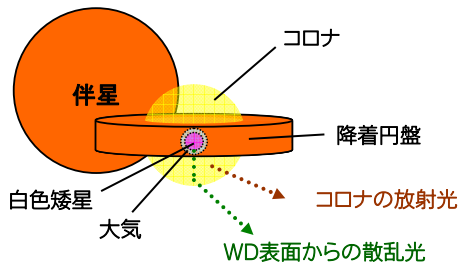


Fig.1. ADCソースモデル

## 2. Results

XMM-NewtonのデータはSAS-7.1.0を用いてプロセスした。Fig.2にはXMM-Newton搭載X線CCDカメラ(EPIC-PN)より得られたCAL87周辺のX線イメージを示す。解析に使用する領域は最もS/N値の高くなる範囲を選択した。

### 2-1. Temporal Analysis

Fig.3,4はXMM-Newton衛星搭載EPIC検出器(MOS1+MOS2+PN)によるエネルギーバンド0.2-2.0keVのX線光度曲線を示す。この様な幅が広く、浅い蝕を持つライトカーブはまさにADCモデルによって説明できる。CAL87は連星系として約10.6時間(Alcock et al. 1997)の周期を持つ事が可視光観測より明らかとなっているが、可視光とX線の光度曲線を比較すると蝕の中心がずれている事が判明した(Fig.4)。さらにX線の光度曲線を見ると、蝕とは別に減光する期間が存在する。

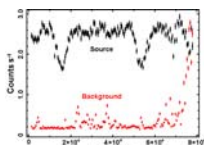


Fig.3. CAL87の光度曲線(観測時間, 0.2-2.0 keV)

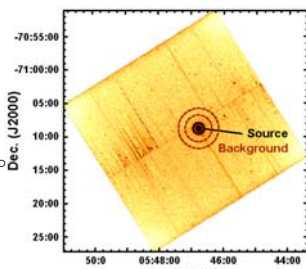


Fig.2. CAL87イメージ(EPIC-PN)

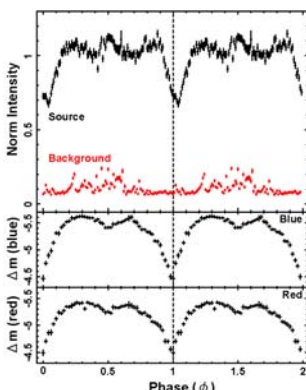


Fig.4. CAL87の光度曲線比較(X線と可視光) 可視光データは Alcock et al. 1997 より転載

### 2-2. Spectrum Analysis

Fig.5はASCA衛星搭載X線CCDカメラ(SIS)と、XMM-Newton衛星搭載X線CCDカメラ(EPIC-MOS, EPIC-PN)によるスペクトルを示す。X線CCDのエネルギー分解能では個別の輝線や吸収線を分解する事が出来ず、白色矮星表面からの黒体輻射に吸収端を考慮したモデルが考慮されてきた。

XMM-Newton衛星搭載分散分光器(RGS)によるスペクトル(Fig.6)を見ると、RGSの高いエネルギー分解能により、これまで黒体輻射が主成分と考えられてきたスペクトルから沢山の輝線が確認された。これは白色矮星表面とは別の光学的に薄いX線放射領域が存在する事を示す。Fig.7にはChandra衛星搭載分散分光器(LETG)によるスペクトルを示す。観測時間はChandra衛星の方が若干長い、CAL87観測ではXMM-Newton衛星の方が統計の良いスペクトルが取得できた。

さらにRGSのデータ(Fig.6)より輝線を同定し、窒素や酸素、鉄の輝線が豊富である事がわかった(Table 2)。以上を考慮して白色矮星表面からの黒体輻射と「光学的に薄い熱的プラズマモデル(vmekal)」を用いてRGSとEPIC-PNのスペクトルをFitした(Fig.8)。

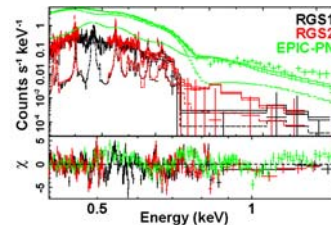


Fig.5. X線スペクトル(SIS,EPIC)

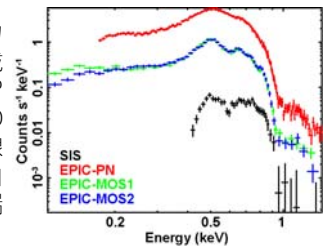


Fig.6. X線スペクトル(RGS)

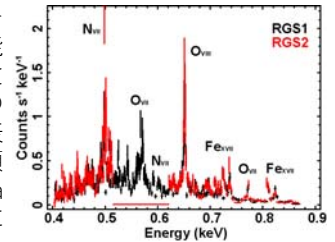


Fig.7. X線スペクトル(LETG)

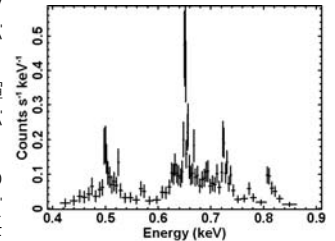


Table 2. スペクトルの輝線成分

Energy (keV)	Line ID	Energy (keV)
0.4479	N <sub>IV</sub> ?	(0.4307)
0.4654	C <sub>IV</sub> ?	(0.4594)
0.4990	N <sub>III</sub>	(0.5003)
0.5256	N <sub>IV</sub>	(0.5216)
0.5406	S <sub>IV</sub> ?	(0.5389)
0.5630	O <sub>III</sub>	(0.5611)
0.5709	O <sub>III</sub>	(0.5739)
0.5967	N <sub>III</sub>	(0.5929)
0.6512	O <sub>III</sub>	(0.6537)
0.7253	Fe <sub>XXIII</sub>	(0.7271)
0.7367	Fe <sub>XXIII</sub>	(0.7389)
0.7722	O <sub>III</sub>	(0.7746)
0.8107	Fe <sub>XXIII</sub>	(0.8124)
0.8230	Fe <sub>XXIII</sub>	(0.8258)

<http://ccx.harvard.edu/atomdb/WebGUIDE/index.html>

## 3. Discussion

エネルギー分解能が高い分散分光器を用いた観測により多くの輝線が確認され、これらの結果より白色矮星表面から放射されるX線だけでなく、光学的に薄いコロナもX線を放射している予想される。「光学的に薄い熱的プラズマモデル(vmekal)」を使用してスペクトルをフィットすると温度は約0.2keVと導かれるが、残差が多く残るので、コロナ成分として光電離プラズマモデルを導入する必要があると考えられる。今後はXSTARを用いた光電離プラズマモデルと精密な白色矮星大気モデルを適用してさらに詳しく調査を行う。

## References

- Long, K.S., et al. 1981, ApJ, 248, 925  
 Ebisawa, K., et al. 2001, ApJ, 550, 1007  
 Greiner, J., et al. 2004, RMxAC, 20, 18  
 van den Heuvel, E.P.J., et al. 1992, A&A, 262, 97  
 Orio, M., et al. 2004, RMxAC, 20, 210  
 Alcock, C., et al. 1997, MNRAS, 287, 699  
<http://ccx.harvard.edu/atomdb/WebGUIDE/index.html>