

すざく衛星によるマイクロエーサー1E1740.7-2942の観測

東慶一、北本俊二、村上弘志(立教大学)

概要

X線天文衛星「すざく」は銀河中心のサーベイ観測を行っている。その中で、銀河中心近くのX線源である、1E1740.7-2942は、2006年10月9日と2008年9月8日の2回、XISの視野内に入っていた。1E1740.7-2942は、かつて電子-陽電子対消滅線の検出が報告されている、マイクロエーサーの代表のひとつである。「すざく」で得られたXISとHXDのPINの観測データを用い、エネルギースペクトルを解析した。2回の観測で、フラックスは約8%の変化がみられた。スペクトルの形は、強度の低い2008年がより硬いことがわかった。これらを硬エネルギー側でのカットオフのあるベキ関数モデルでフィッティングすると、フォールディングエネルギーが65keVから80keVに上がったとして説明できる。また、GSOのデータをベキ関数と輝線を表すガウス型関数でフィッティングした結果、幅が十分細いと仮定した511keVの輝線の1 σ の上限値は2006年で 4.82×10^{-3} (count/cm²/sec)、2008年で 6.86×10^{-3} (count/cm²/sec)であることが分かった。

Introduction

1E1740.7-2942は1984年にEinstein衛星によって初めて観測された。1E1740.7-2942は銀河中心付近にあり、511keVの電子-陽電子対消滅線(Bouchet et al. 1991)や数秒角に伸びる電波ジェット(Miabe et al. 1993)などが観測されている、代表的なマイクロエーサーである。電子-陽電子対消滅線の強度は変化している事が報告されており、これまでのX線の観測結果では、非常に強い吸収($N_H \sim 10^{23}$ cm⁻²)を受けたハードなベキ型($\Gamma \sim 1.6$)スペクトルを示すことも報告されている。

今回の解析ではすざく衛星に搭載されている軟X線検出器XIS(0.3-12keV)(図1)と硬X線検出器HXD(10-600keV)(図2)の観測データを用いた。



図1. XIS



図2. HXD

<http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/suzaku/scienti.shtml>

Observation

すざくは、銀河中心を精力的に観測し、多くの成果を上げている。多くの観測データの中で、2回1E1740.7-2942がXISの視野に入り精度良いデータが得られている。観測日時と、露出時間を表1のまとめた。XISによる観測はすべてnormalモードで、5 \times 5または3 \times 3のエディティングモードで時間分解能は8秒である。

観測日時	2006年10月9日	2008年9月8日
観測データ	XIS, HXD	XIS, HXD
Exposure	22ks	57ks

表1. 1E1740.7-2942の観測

解析結果

1. イメージ解析

XISで取得した2keVから10keVの像を図3、図4に示す。どちらも、1E1740.7-2942を中心に観測したものではなく、銀河中心サーベイ観測の一環であるので、視野の中心で観測していないことが分かる。この像から、XISのレスポンス関数を作った。PINの視野内は強度の強い硬X線源はないことを確かめた。

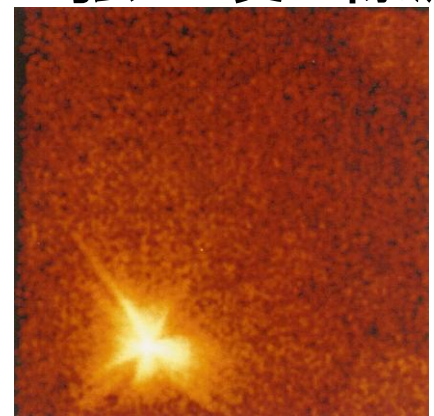


図3. 2006年 XISのイメージ

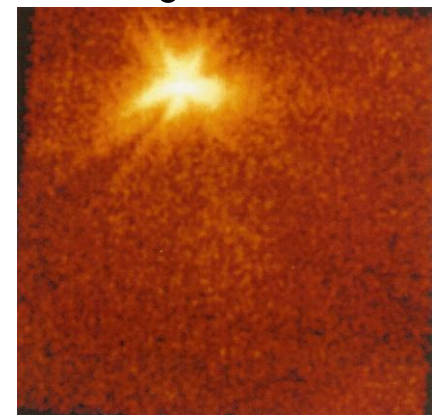


図4. 2008年 XISのイメージ

2. 光度曲線

XISの2006年と2008年の2keVから10keVのライトカーブを図5と図6に示す。それぞれの観測では目立った変動は見られなかった。しかし、2008年は、2006年よりも暗くなっている。

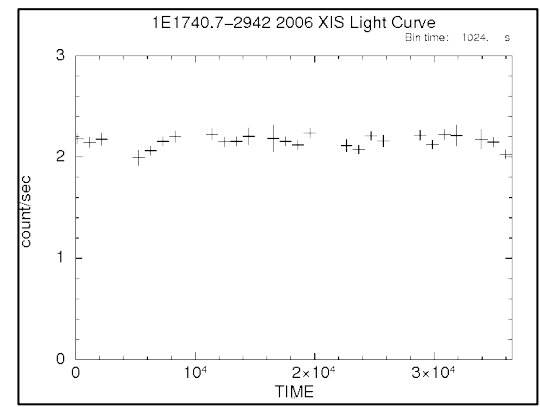


図5. 2006年 XISライトカーブ

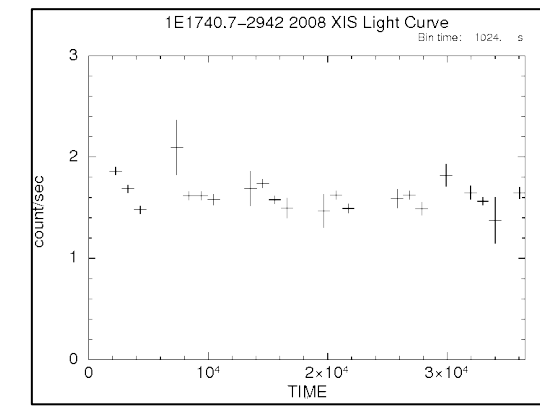


図6. 2008年 XISライトカーブ

3. エネルギースペクトル

XISとPINのスペクトルを作成した。XISは視野内のX線源が無い領域をバックグラウンドとした、PINのデータは非X線バックグラウンドデータを引いたデータと、本観測領域から38度離れて特に明るい硬X線源が無い領域のデータから非X線バックグラウンドデータを引いたデータをCXBや銀河拡散成分として、差し引いた。求めたXISとPINの2006年と2008年それぞれのスペクトルのデータを図7、図8に示す。GSOはバックグラウンドを引かず作成したスペクトルを図10、図11に示した。

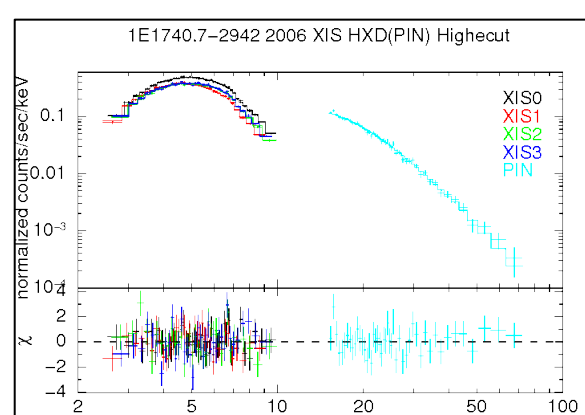


図7. 2006年XIS, PINのスペクトル

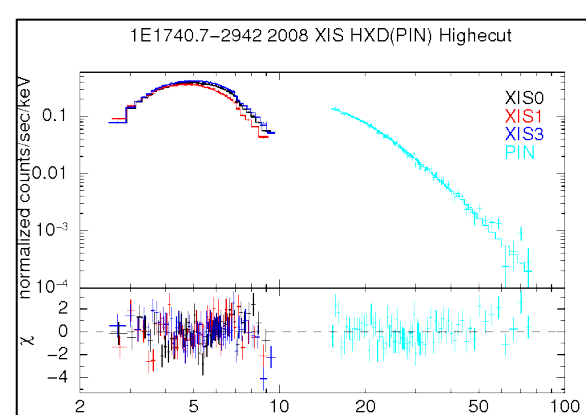


図8. 2008年XIS, PINのスペクトル

4. XISとHXD(PIN)のスペクトルフィッティング

求めたスペクトルを星間吸収を考慮したベキ関数でフィッティングした。また、データには7.1keVあたりにへこみが見られるので、鉄のK吸収端と考えてモデルに加えた。結果を表2にまとめる。

2008年は2-10keVのFluxが減少していることが確かめられた。ベキの指数は、誤差の範囲で有意ではないが、2008年の方が小さい傾向がある。また星間吸収は約4%増えている。

上記のモデルでは、大雑把にデータを説明できるが、2008年は許容範囲ではない。そこで、高エネルギー側で指数関数的に減少するカットオフを加えてフィッティングを行った。カットオフを加えることに対するFテストの結果を表3に示す。その結果、カットオフを加えることは有意であることが分かった。

カットオフを入れたモデルでのフィッティングの結果を表4にまとめた。その結果、硬エネルギーカットオフのフォールディングエネルギーが2006年に比べて2008年の方が高くなっている傾向がある。図7と図8の下段のパネルは、カットオフを入れたモデルからデータのずれを示した。

図9には、2008年のベストフィットのモデルを2006年のモデルで割り算したものである。10keV以下で強度が減少しつつ、高エネルギー側では逆に増光していることがモデルによらず見て取れる。

	2006	2008
N_H (10^{22} cm ⁻²)	14.85 ± 0.20	15.43 ± 0.14
PhoIndex (photons cm ⁻² s ⁻¹ keV ⁻¹)	1.63 ± 0.03	1.59 ± 0.02
Edge (keV)	7.22 ± 0.22	7.07 ± 0.10
Max tau	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.01
Flux (10^{-10} erg cm ⁻² s ⁻¹)	1.52 (2-10keV)	1.39 (2-10keV)
χ^2 (dof)	1.03(196)	1.45(203)

表2. 星間吸収、ベキ関数、Edgeのモデルでフィッティングした結果

	2006 Highcut	2008 Highcut
N_H (10^{22} cm ⁻²)	14.05 ± 0.26	14.75 ± 0.18
PhoIndex (photons cm ⁻² s ⁻¹ keV ⁻¹)	1.43 ± 0.05	1.42 ± 0.04
Edge (keV)	7.21 ± 0.09	7.06 ± 0.05
Max tau	0.07 ± 0.02	0.07 ± 0.01
Folding (keV)	65.45 ± 15.07	80.48 ± 13.85
χ^2 (dof)	0.93(195)	1.30(202)

表4. 星間吸収、ベキ関数、Edge、高エネルギーでのカットオフのモデルでフィッティングした結果

	2006	2008
F statistic value	21.7	22.6
Null probability	5.9×10^{-6}	3.9×10^{-6}

表3. Fテストの結果

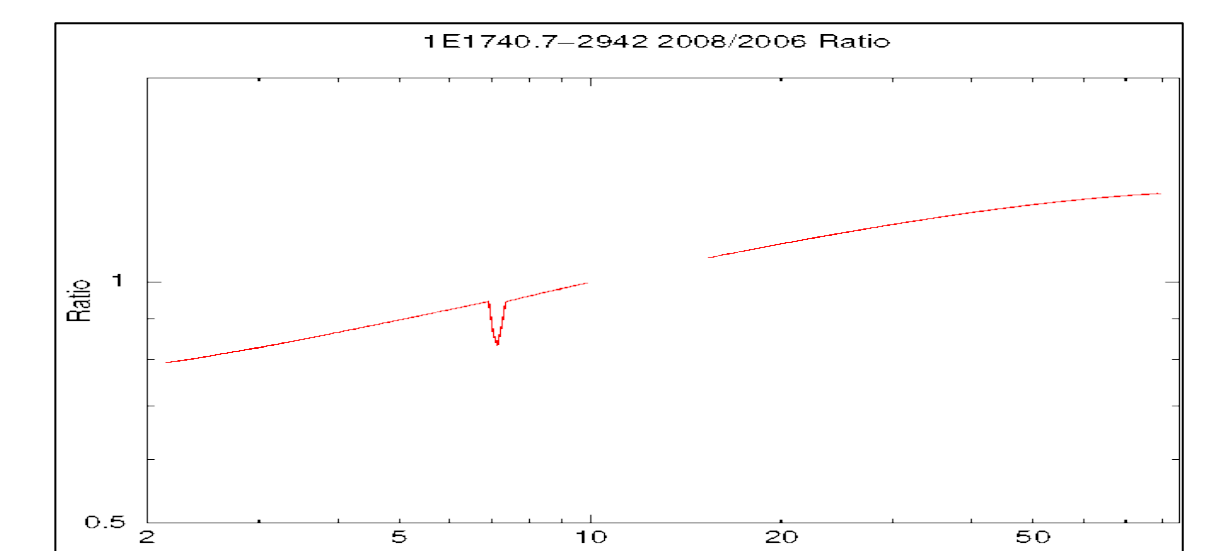


図9. 2006年と2008年の高エネルギーでのカットオフのモデルを含んだモデルの比

5. HXD(GSO)のスペクトルフィッティング

GSOのデータをベキ関数と輝線を表すガウス型関数のモデルでフィッティングした結果を図10、図11に示した。また、幅が十分細いと仮定した511keVの輝線の1 σ の上限値を求めた結果を表4にまとめた。

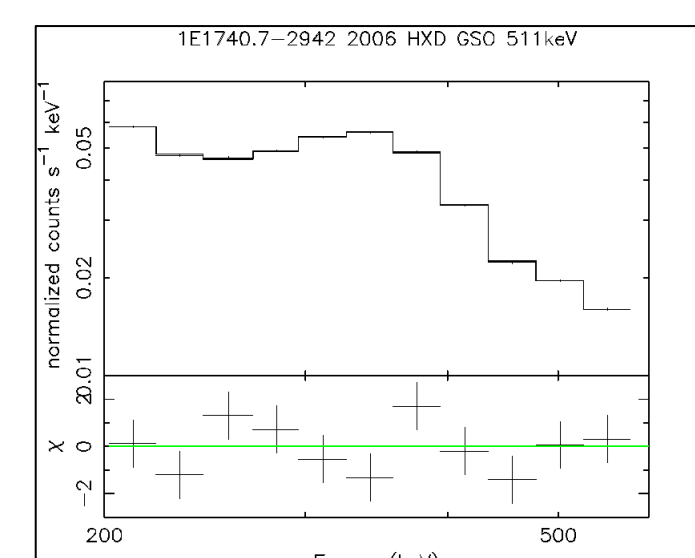


図10. 2006年 GSOスペクトル

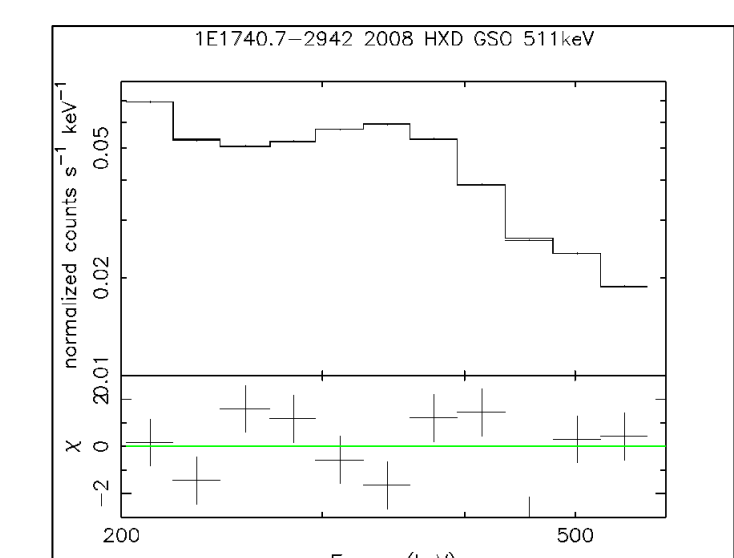


図11. 2008年 GSOスペクトル

	2006年	2008年
PhoIndex (photons cm ⁻² s ⁻¹ keV ⁻¹)	-0.41 ± 0.01	-0.47 ± 0.01
Norm (photons cm ⁻² s ⁻¹ keV ⁻¹)	$(3.30 \pm 0.52) \times 10^{-5}$	$(2.38 \pm 0.24) \times 10^{-5}$
LineE(keV)	511.00(fix)	511.00(fix)
Sigma	0.10(fix)	0.10(fix)
Norm (photon cm ⁻² s ⁻¹)	$(3.97 \pm 0.85) \times 10^{-3}$	$(6.42 \pm 0.47) \times 10^{-3}$
Null hypothesis probability	5.26×10^{-2}	0.02×10^{-2}

表4. ベキ関数と幅の十分細いガウス型関数のモデルでフィッティングした結果

まとめ

2006年と2008年で2-10keVの強度が約8%減光していた。スペクトルを比較すると、2008年はより硬くなっていることが分かった。硬エネルギー側でのカットオフのフォールディングエネルギーにすると、65keVから80keVに高くなったことで説明できる。コロナによる熱コンプトン散乱と考えると(Kuznetsov et al. 1997; Bouchet et al. 2009)、強度が明るいときにコンプトン雲の温度が下がるということで定性的に説明できる(Kuznetsov et al. 1997)。また、GSOのデータをベキ関数と輝線を表すガウス型関数でフィッティングした結果、幅が十分細いと仮定した511keVの輝線の1 σ の上限値は2006年で 4.82×10^{-3} (count/cm²/sec)、2008年で 6.86×10^{-3} (count/cm²/sec)であることが分かった。この値はGRANAT/SIGMAで観測された上限値 1.3×10^{-2} (count/cm²/sec)(Bouchet et al. 1991)と比較しても小さい値である。

参考文献

- Bouchet, L. et al. 1991, ApJ, 383, L45
- Bouchet, L. et al. 2009, ApJ, 693, 1871
- Kuznetsov, S. et al. 1997, MNRAS, 292,651
- Mirabel, I. F. Et al. 1993, A&AS, 97,193