

未同定高エネルギー天体RX J2056.6+4940 の多波長観測

和田師也^{1,2}、辻本匡弘¹、海老沢研^{1,2}(¹JAXA/ISAS,²東京大学)
wada@astro.isas.jaxa.jp

1. Introduction

近年、Fermi GeV γ 線衛星によって未知の高エネルギー天体が多く発見されている[1]。これらのうち、高銀緯にあるものは系外、低銀緯にあるものは系内天体と考えられている。しかし、Saitou et al. (2009) [2]によって、比較的高い銀緯 ($|b| = 13.67^\circ$) にありながら系内天体である例 (XSS J12270-4850、以下 J12270) が報告された。この天体は、以下に示す数々の特異なX線、近赤外線の性質を示し、新種の高エネルギー天体と考えられる (Saitou et al. 2011 [3])。 (i) 軟X線に鉄輝線がない、(ii) 軟X線から硬X線に伸びるベキ型スペクトルを持つ、(iii) フレア、減光、スペクトル硬化、相変化などの多様な時間変化が短時間に混在して起きる。

我々は、Fermi 未同定天体から、J12270 様の天体を他にも見つける研究を開始した。Fermi 天体は、 γ 線の撮像技術の制約から位置決定精度が悪く、他波長同定がきわめて困難である。そこで我々は以下の手順により観測候補天体を絞り込んだ。(i) Fermi 衛星 LAT 検出器全天カタログ[1] (GeV γ 線) を母集団とする (1451個)。(ii) INTEGRAL 衛星 IBIS 検出器全天カタログ[4] (硬X線) の天体と 3σ のエラーサークル内で対応天体を絞る (253個)。(iii) ROSAT 衛星 PSPC 検出器全天カタログ[5] (超軟X線) の天体と 1σ のエラーサークル内で対応天体を絞る (72個)。(iv) XMM-Newton 衛星 EPIC 検出器 slew survey、serendipitous source survey カタログ[6][7] (軟X線) の天体と 1σ のエラーサークル内で対応天体を絞る (62個)。続けて、J12270の観測的特徴から、(v) 0.2-12.0 keV でのX線フラックスが 10^{12} erg $s^{-1} cm^{-2}$ 以上。(vi) 銀緯が 15° 以下。(vii) 2MASS近赤外線全天サーベイ[8]で対応天体があるもの。これらの条件をもとに6個の観測候補天体を得た。条件(vi)および(vii)は系外天体の混入確率を下げるために有効である。これらのうち、J12270を含めてすでに先行研究で正体がわかっている4天体を除く。さらに非熱的電波の検出[9]を基準として、さらに1天体を追加した。以上3天体が観測候補天体である (表1)。

今回は候補天体の1つRXJ2056.6+4940 (以下 RXJ2056) のX線および近赤外線観測の結果を報告する。

表1. 観測候補天体

Object	RA (J2000.0)	Dec (J2000.0)	X線 flux* (erg $s^{-1} cm^{-2}$)	近赤外線等級 (mag. J/H/Ks)
RXJ2056.6+4940	20:56:42.72	+49:40:06.9	1.85×10^{-11}	.../14.3/13.7
RXJ0137.7+5814	01:37:50.48	+58:14:11.2	1.81×10^{-11}	15.6/14.7/13.9
RXJ0131.0+6120	01:31:07.24	+61:20:33.5	2.18×10^{-11}	16.4/15.5/14.6

* 0.2-12.0 keVにおけるflux

2. Observations

2-1 X線観測衛星すざく

すざくは日本が打ち上げた5番目のX線天文衛星である[10]。すざく衛星は直径2.1 m、全長6.5 m、総重量1700 kgの衛星であり、高度約550 kmの略円軌道上を約96分で周回する。軌道が他のX線天文衛星に比べて低高度であるため、地球磁気圏により荷電粒子由来の検出器雑音が低減されている。

すざく衛星は4台のX線CCDカメラから構成されるX線撮像・分光器 (X-ray Imaging Spectrometer, XIS[11]) と硬X線検出装置 (Hard X-ray Detector, HXD[12][13]) を持つ。0.2-12.0 keVに感度を持つXISと、10-600 keVに感度を持つHXDの組み合わせによる広帯域観測が同衛星の最大の特徴である。すざく衛星の基本性能を表2にまとめた。

4台のCCDカメラのうち、XIS0, 2, 3は表面照射型 (front-illuminated, FI)、XIS1は背面照射型 (back-illuminated, BI) である。それぞれ高エネルギー側、低エネルギー側で高い検出効率を持つ。ただし、XIS2およびXIS0の一部は2006年11月と2010年12月に故障した。今回は検出器の残りのデータを解析した。HXDは非撮像型の検出器であり、4x4の井戸型フォススイッチカウンタであるPIN型半導体検出器と、それを取り囲むGSOシンチレータで構成されている。本論文では、70 keV以下に感度を持つPINのデータを用いた。

表2. すざく衛星搭載検出器の基本性能

検出器	視野	エネルギー帯	エネルギー分解能	時間分解能
XIS	17'.8 x 17'.8	0.2-12.0 keV	150-190 eV at 6 keV (FWHM)	8 s
HXD-PIN	34' x 34'	10-70 keV	~3.0 keV (FWHM)	61 μ s

2-2 すばる望遠鏡

すばる望遠鏡は、標高4,200 mのハワイ島マウナケア山頂にある大型光学赤外線望遠鏡である。主反射鏡は有効口径8.2 m、厚さ20 cm、重さ22.8 t、焦点距離15 mである。また望遠鏡本体は高さ22.2 m、最大幅27.2 m、重さ555 t、観測星像分解能0.2秒角である。

すばる望遠鏡は主焦点、カセグレン焦点、そして2つのナスミス焦点を持つ。このうちのカセグレン焦点にすばる多天体近赤外線撮像分光装置 (Multi-Object InfraRed Camera and the Spectrigrph, MOIRCS[14][15]) が搭載されている。MOIRCSは0.9-2.5 μ mの波長帯で広視野撮像と多天体分光を行うことができる。2048x2048画素の2つのHAWAII-2アレイにより0.117 arcsec/pixelのイメージスケールで4'x7'の撮像観測ができる。

我々はロングスリット分光モードで波長分解能 $R=1300$ (0".5 slit) のグリズムおよびKバンドフィルターを用いて2.0-2.3 μ mの波長帯を1400 sずつの2回、分光観測を行った。本観測では、ディザリング (露光毎に天体のスリット上の位置を変化させる) を行った。赤外線観測用の検出器では地球大気放射によるバックグラウンドが大きいため、ディザリングを行なった2枚のデータ (A, B) をそれぞれ引き算する (A-B) ことで、バックグラウンドを補正する。また、2枚のデータの和を取る (A+B) ことで、大気中のOH夜光輝線をとりますことができ、分散光の波長校正に使用できる。標準星HD19721はAOV型のスペクトル型を持ち、同様の手法を用いて観測を行った。

表3. 観測ログ

	Object	観測日	観測時間 (s)
すざく衛星	RXJ2056.6+4940	2011/11/22	42400
すばる望遠鏡	RXJ2056.6+4940	2011/06/23	1400 x 2
	HD19721	2011/06/23	60 x 4

3. Analysis & Results

3-1 X線

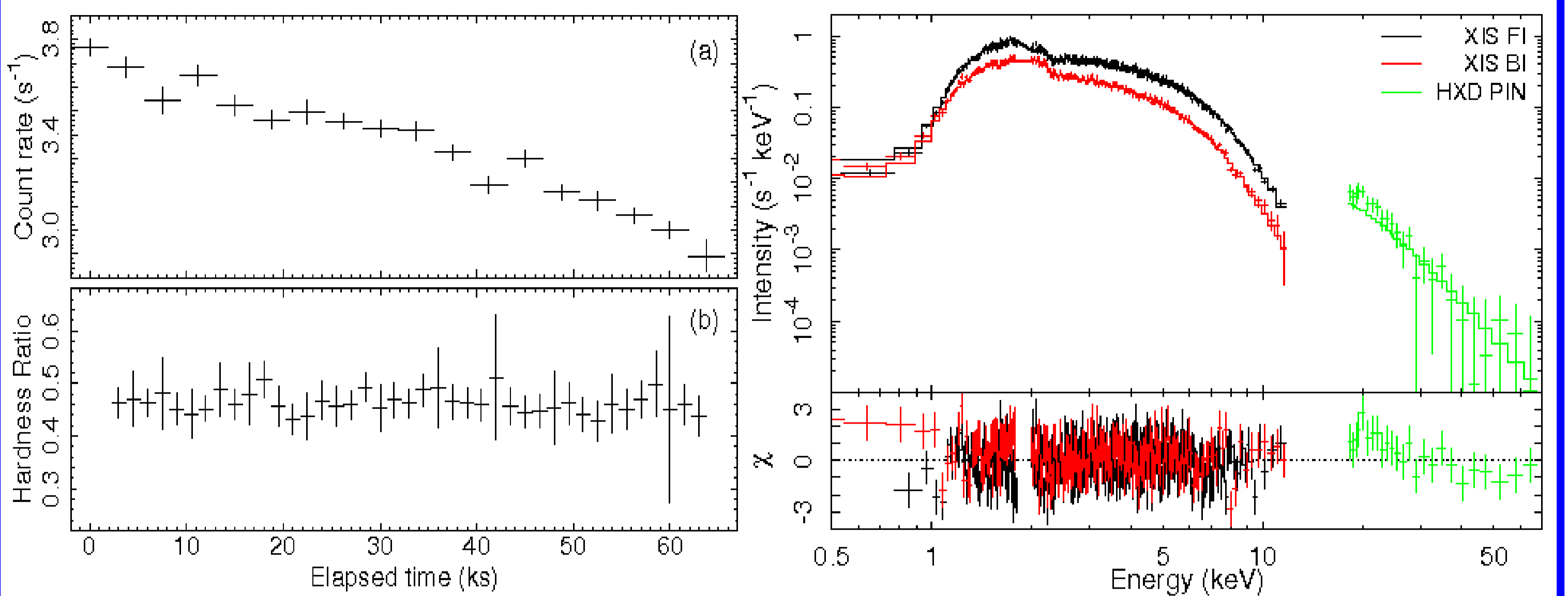


図1. すざく衛星XIS検出器によるX線のライトカーブ。(a)は0.2-12.0 keVでのカウントレート、(b)は0.2-2.0 keVと2.0-12.0 keVのhardness ratio。縦方向のエラーバーは 1σ の統計誤差を表す。

図2. 上図の十字のプロットはすざく衛星XIS検出器およびHXD-PINによるX線スペクトルを、実線はベストフィットモデルを表す。下図はbest-fitモデルからの残差を表す。

図1にXIS検出器によるカウントレートとhardness ratioのライトカーブを示す。Hardness ratioは $(H-S)/(H+S)$ の比で定義される。ここでHとSはそれぞれ0.2-2.0 keVと2.0-12.0 keVでのカウントレートである。

図2はXISとHXD-PINによるX線スペクトルである。XIS0と3はマージしており (XIS FI)、XIS1と分けて示してある (XIS BI)。1.8-2.0 keVは検出器較正の不定性のため取り除いてある。

XISとHXD-PINのスペクトルを星間吸収を考慮したベキ乗モデルでフィットした。フリーパラメーターは光子指数 (Γ) 、0.5-10.0 keVでのフラックス (F_x) 、そして水素柱密度 (M_H) である。スペクトルはこの単純なモデルでよく再現することでできた。Best-fit parameterを表4に示す。

表4. X線スペクトルのBest-fit parameters*

Par.	Unit	Value
M_H	cm^{-2}	$(1.64 \pm 0.01) \times 10^{22}$
Γ		2.10 ± 0.01
$F_{x\pm}$	erg $s^{-1} cm^{-2}$	$(6.46 \pm 0.05) \times 10^{-11}$
$\chi^2_{red}(dof) \pm$		1.03(643)

* 誤差はすべて 1σ の統計誤差を表す。
† F_x は0.5-10.0 keVにおけるfluxである。
‡ Reduced χ^2 (χ^2_{red})と自由度 (dof)

3-2 近赤外線

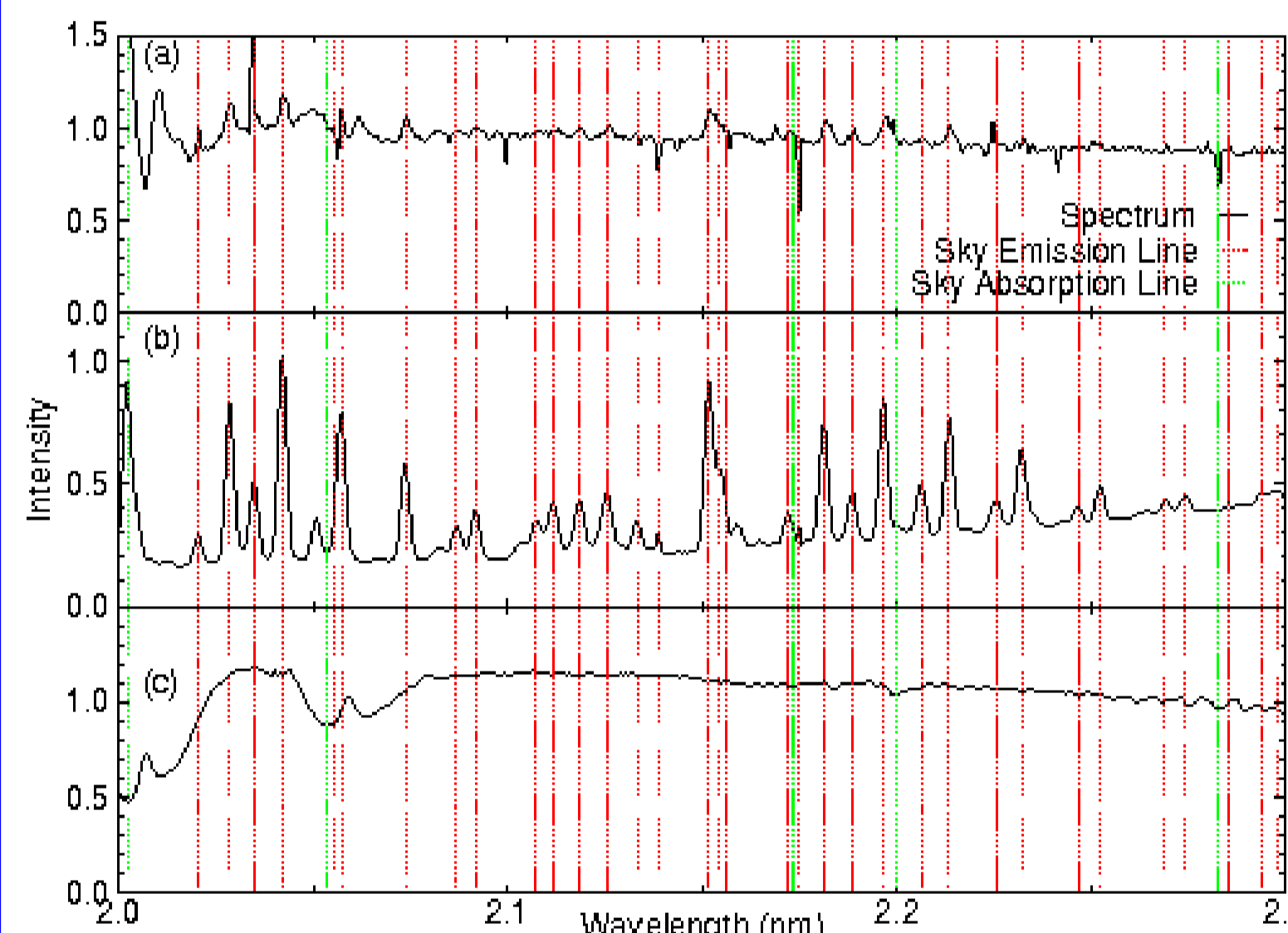


図3. すばる望遠鏡MOIRCSによる近赤外線スペクトル。(a)はA-Bによって得られた天体と夜光輝線の引き残りのスペクトル。(b)はA+Bによって得られたOH夜光輝線のスペクトル。(c)は大気中のOH夜光輝線を見積もるスペクトルである。図中の赤い点線はOH夜光輝線、緑の点線は大気による吸収の波長を表す。

図3はすばる望遠鏡MOIRCSの観測による近赤外線スペクトルである。(a)はA-Bによって得られた天体と夜光輝線の引き残り、(b)はA+Bによって得られたOH夜光輝線のスペクトル、(c)は標準星を観測し、そのスペクトルタイプに特徴的なBr γ 吸収線をVoigt profile fittingで除いて作成した、大気中の吸収線を見積もるスペクトルをそれぞれ表す。図中の赤い点線はOH夜光輝線、緑の点線は大気による吸収の波長である。(a)に見えるfeaturesのうち、これらの波長と一致しない以下が天体起源のものと考えられる: 2.05, 2.10, 2.14, 2.18, 2.24, 2.28 μ m。

3-3 多波長

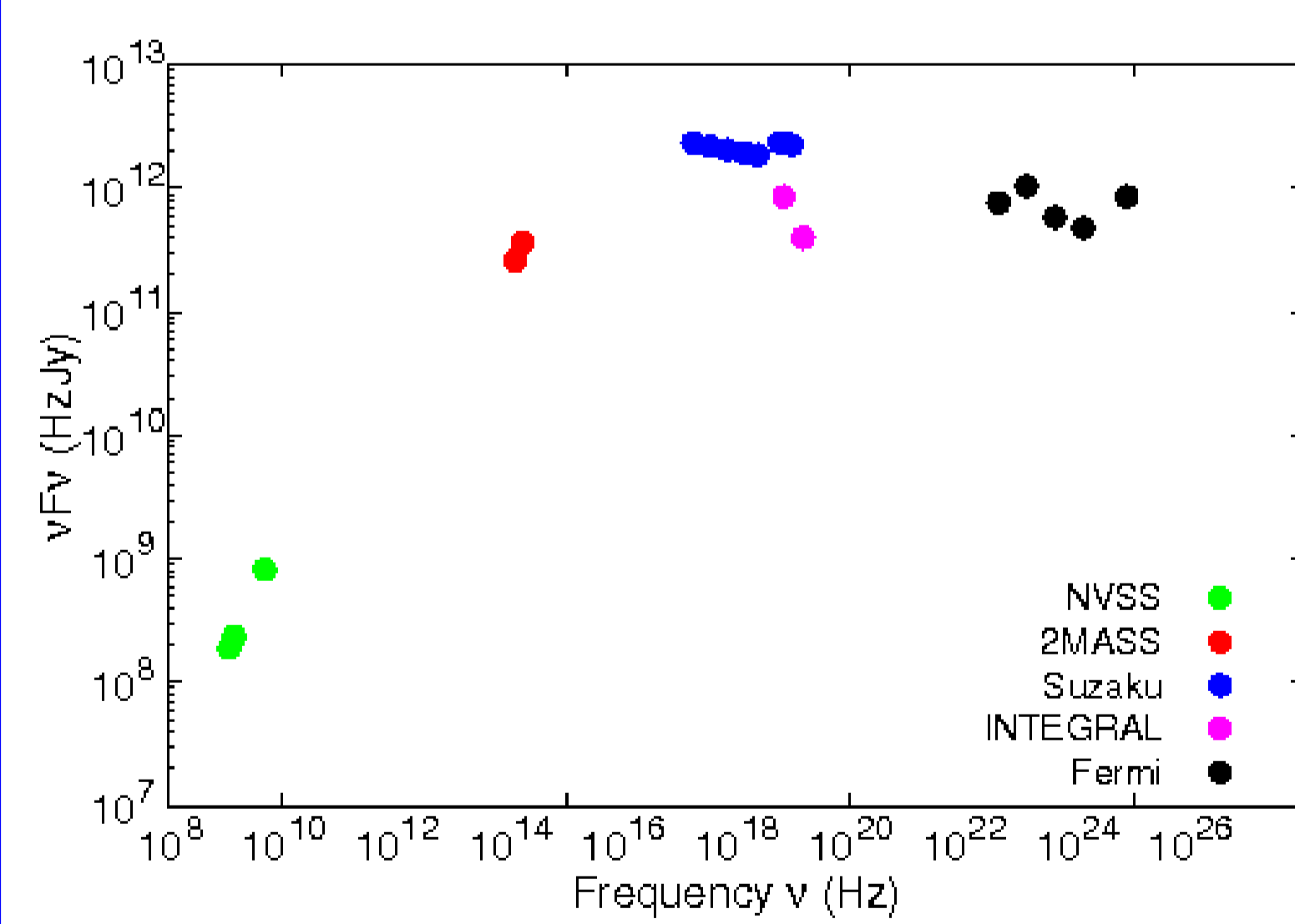


図4. SED

図4にSpectral Energy Distribution (SED)を示す。図中の緑はVLA望遠鏡による電波全天サーベイ[16]、赤は2MASS近赤外線全天サーベイ[8]、青はすざく衛星による観測 (this work)、紫はINTEGRAL衛星IBIS検出器全天カタログ[4]、黒はFermi衛星LAT検出器全天カタログ[1]からのデータである。

データには、 10^{16} Hz付近と 10^{22} Hz付近に2つのピークを持つように見える。

4. Discussion

軟X線から硬X線にわたるスペクトルはベキ乗モデルでよく再現でき、鉄輝線も持たなかった。しかしX線のライトカーブからは短時間での時間変動は見られず、J12270の持つ特徴とは異なる。したがって、本天体はJ12270様の天体ではないと結論する。

近赤外線のスペクトルはほとんどフラットであり、また2つのピークを持つというSEDの特徴から、この天体の正体はブレーザーではないかと考えられる。X線のライトカーブに見られる40ksの観測時間における30%もの減光などは、ブレーザーに見られる特徴によく一致する。またこの近赤外線のスペクトルにはいくつかの吸収線が見られるが、これらの波長にはrest frameで対応するものがなく、赤方偏移していると考えられ、ブレーザーの母銀河に存在する星間物質による吸収と考える。

References

- [1] Abdo et al. 2010, ApJ
[2] Saitou et al. 2011, PASJ
[3] Saitou et al. 2009, PASJ
[4] Bird et al. 2010, ApJS
[5] Voges et al. 1999, A&A
[6] Saxton et al. 2008, A&A
[7] Watson et al. 2009, A&A
[8] Skrutskie et al. 2006, AJ
[9] Paredes et al. 2002, A&A
[10] Mitsuda et al. 2007, PASJ
[11] Koyama et al. 2007, PASJ
[12] Kokubun et al. 2007, PASJ
[13] Takahashi et al. 2007, PASJ
[14] Ichikawa et al. 2006, SPIE
[15] Suzuki et al. 2008, PASJ