小マゼラン雲でのパルサーラッシュ

今西 健介、辻本 匡弘、横川 淳、小山 勝二 (京大理)

1 パルサーラッシュ

近年、小マゼラン雲 (SMC) において X 線パルサーの発見が相次いでいる。 1997 年末までは、 SMC X−1[1]、 RX J0059.2−7138[2]、 2E0050.1−7247[3] の 3 つが知られているだけであったのに対し、この 1 年強で実に 12 個もの X 線パルサーが発見された。特に X 線衛星「あすか」は、このうち単独で 5 つ、 XTE と共同で 2 つのパルサーを発見しており、この「パルサーラッシュ」に多大なる貢献をしている。なぜ「あすか」がこれほど大量のパルサーを発見できたのか？それは「あすか」によって得られた SMC のイメージ (図 1) を見れば一目瞭然である。発見されたパルサーは Soft band(<2.0keV) より Hard band(>2.0keV) で明るいことがわかる。つまり、「あすか」の特徴である硬 X 線帯域での撮像分光能力が、「パルサーラッシュ」に有用であったと考えられるのである。

今回は、「あすか」を用いて我々のグループが発見した 4 つのパルサー、 AX J0049−729(周期 74.7sec)[4][5]、 AX J0058−720(280.3sec)[6]、 AX J0051−733(323.2sec)[6][7][8][9]、 AX J0049−732(9.1321sec)[10] の紹介を行なう。

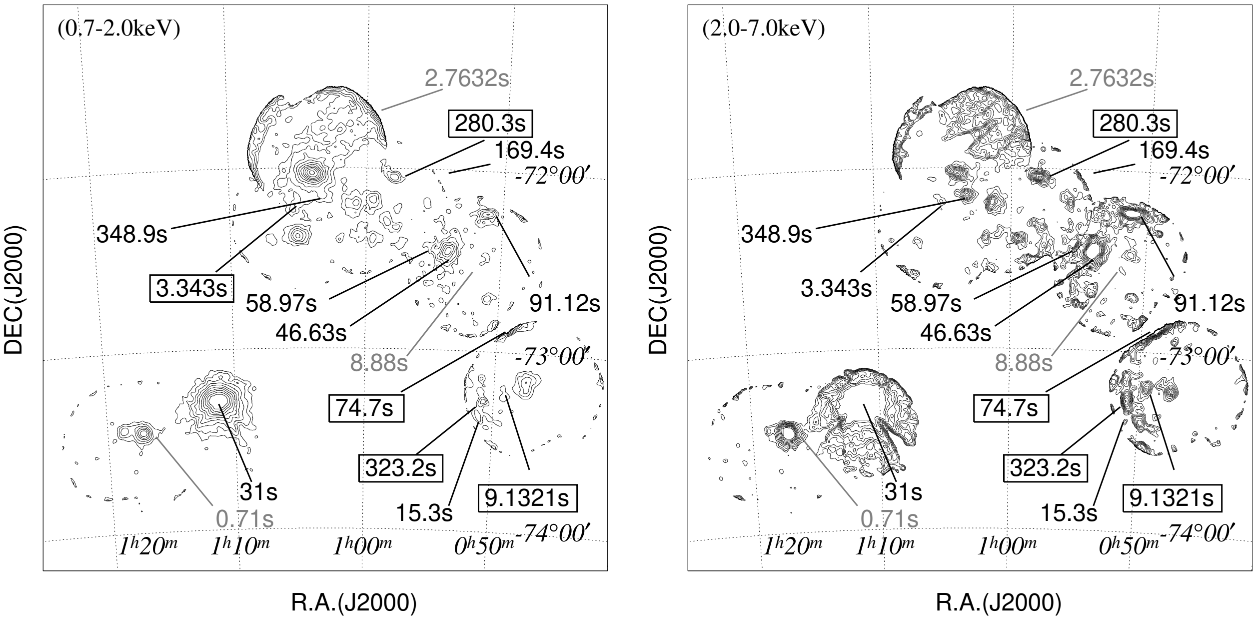

図 1: 「あすか」GIS による SMC のイメージ [左:Soft band(0.7–2.0keV), 右:hard band(2.0–7.0keV)]。発見されているパルサーとその周期も図中に示す。灰色で書かれたものが 1997 年以前、黒で書かれたものが 1997 年以降に発見されたものである。我々のグループが発見したのは四角で囲まれた 4 つのパルサーである。

2 「あすか」データ解析

2.1 Timinig Analysis

図 2 にそれぞれのソースのパワースペクトル、図 3 に Phase ごとに折り畳んだ Soft band(0.7–2.0keV)、 Hard band(2.0–7.0keV) でのパルス波形とその比を示す。 AX J0058−720 のパワースペクトルは周期 140sec と 280sec に 2 つのピークが見られるが、これはパルス波形が double peak になっているためであり、本来の周期は 280sec と考えられる。特徴的なのは AX J0051−733 のパルス波形で、 Hard/Soft の比を見ると一定ではない。つまり、エネルギーごとにパルス波形が変化していることが伺える。

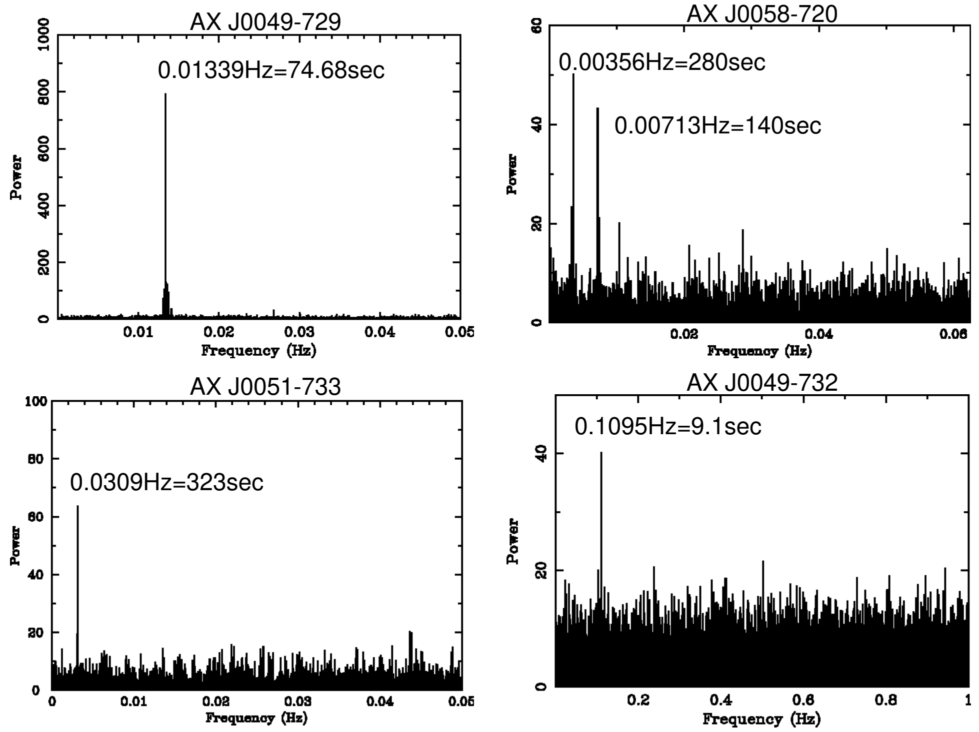

図 2: パワースペクトル。それぞれ、 74.68sec、 280sec(140sec)、 323sec、 9.1sec にピークが見られる。 AX J0058−720 に 2 つのピークが見られるのは、パルス波形が double peak になっているためだと考えられる。

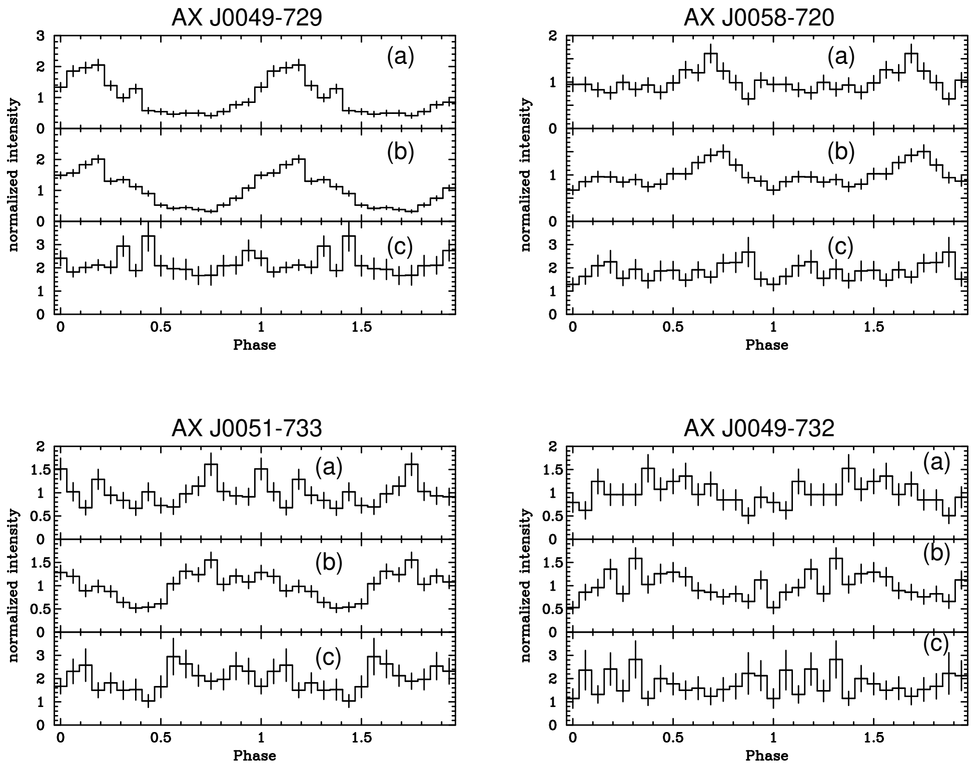

図 3: パルス波形。 (a)Soft band(0.7–2.0keV)、 (b)Hard band(2.0–7.0keV)、 (c)Hard/Soft の比。他のパルサーに比べ、 AX J0051−733 の (c) にばらつきが多いことがわかる。

2.2 Spectral Analysis

図 4 にそれぞれのスペクトルを示す。 AX J0049−732 はおよそ 2′ 離れたところに存在する SNR DEMS49 (kT=0.11keV) の contamination を強く受けているので、それを考慮して 2 成分でフィッティングしてある。すべて absorbed-powerlaw model で良く再現されている。 photon index は 0.60–1.00 になっており、かなり Hard なソースであることがわかる。

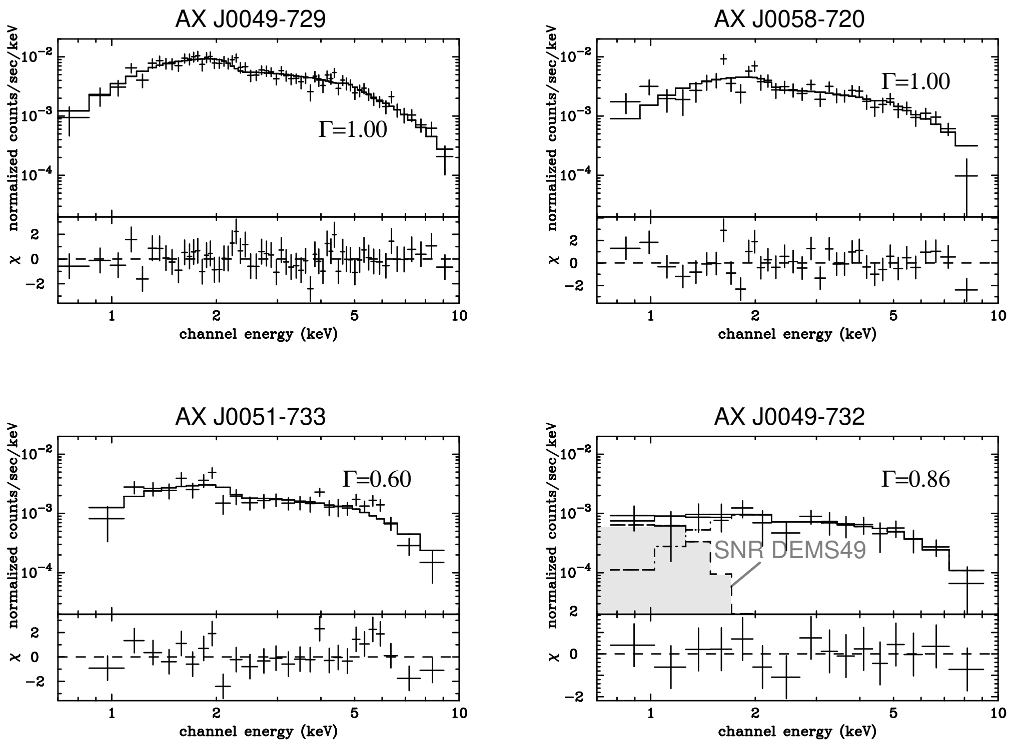

図 4: スペクトル。すべて absorbed powerlaw model でフィッティングしている。ただし AX J0049−732 は SNR(DEMS49) による contamination を受けている。

3 ROSAT の観測との比較

これらのパルサーはいずれも以前に行なわれた ROSAT PSPC での観測の視野に入っており、ソースとして認定されていた。我々は長期的な変動を調べるために、「あすか」で導出した flux から PSPC での count rate を予想し、実際 PSPC で観測された時の count rate と比較した (表 1)。 AX J0049−732 以外は、「あすか」での観測の時に 10 倍程度明るくなっており、 transient source であることがわかる。

表 1: 「あすか」、 ROSAT の観測での比較

	AX J0049−729	AX J0058−720	AX J0051−733	AX J0049−732
「あすか」による flux$^{(a)}$[erg/sec/cm^2]	1.1×10^{-11}	2.4×10^{-12}	3.6×10^{-12}	9.2×10^{-13}
ROSAT PSPC で予想される count rate[10^{-3}/s]	75.4	16.5	36.7	2.63
実際の ROSAT PSPC での count rate[10^{-3}/s]	$45.2^{(b)}/3.50^{(c)}$	$2.06^{(d)}$	$3.35^{(d)}$	$1.81^{(e)}$

(a)0.7–10.0keV (b)1991/10/9 の観測 [11] (c)1992/4/15 の観測 [11] (d)Kahabka et al(1998)[12] より引用
(e)http://legacy.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/W3Browse/w3browse.pl より引用

4 これらのパルサーの正体は？

以上の解析結果からこれら 4 つのパルサーの特徴を表 2 にまとめる。全体的な特徴として、

1. 周期 9–323sec
2. スペクトルは hard な powerlaw($\Gamma \sim$0.6–1.0)
3. 10 倍程度の強い flux 変動 (AX J0049−732 以外)
4. パルス波形のエネルギー依存 (AX J0051−733 のみ)

となる。この特徴から、この 4 つのパルサーは High Mass X-ray Binary Pulsar(HMXBP) ではないかと予想される。この仮説を確かめるには、 Optical の観測により Be star Binary を見つけ出すのが最も直接的な方法であると言えるだろう。 AX J0051−733 に関しては Optical による追観測が行なわれており [8][9]、パルサーのエラー範囲内に V∼15mag、 rotation period∼0.708day の Be star Binary を見つけている。よってこのパルサーを HMXBP と考えるのに疑う余地はないであろう。他の 3 つのパルサーについても Optical による追観測が望まれる。

表 2: 4 つのパルサーの特徴のまとめ

	RA (J2000)	DEC (J2000)	パルス周期 [sec]	パルス波形	Photon index	Luminosity$^{(a)}$ [erg/sec]	強度変動
AX J0049−729	00:49:00	-72:51:40	74.63	変化なし	1.00(0.9–1.2)	4.8×10^{36}	あり
AX J0058−720	00:57:58	-72:02:56	280.3	変化なし	1.00(0.7–1.3)	1.0×10^{36}	あり
AX J0051−733	00:50:47	-73:15:51	323.2	エネルギー依存	0.60(0.4–0.9)	1.5×10^{36}	あり
AX J0049−732	00:49:24	-73:12:21	9.1321	変化なし	0.86(0.2–1.8)	4.0×10^{35}	不明

(a) 0.7–10.0keV。距離 60kpc[13] を仮定。

5 今後の展望

これらのパルサーはまだ性質が明らかになっていないところが多い。今後はさらに情報量を増やし、 HMXBP であるという仮定を確かめることが重要である、具体的には、 4 章でも述べたように Optical による観測で Be Binary を探す、あるいは X 線による追観測でパルス周期の変化率を見積もる、といったことが望まれる。

また、図 1 を見ると、「あすか」の観測はまだ絶対的な pointing 数が少なく、未だに SMC 全体を覆いきっていないことがわかる。我々は「あすか」による SMC の mapping を目的に観測を提案、これが承認され、 1999 年中に 20ksec×5pointing の観測を行なう予定である。これにより、今まで観測できていないところからさらに新たな X 線パルサーが検出されることが期待できる。

参考文献

[1] Lucke, R. et al. *Astrophys. J.* **206,** L25-L28 (1976).

[2] Hughes, J. *Astrophys. J.* **427,** L25-L28 (1994).

[3] Israel, G. L. et al. *Astrophys. J.* **484,** L141-L144 (1997).

[4] Yokogawa, J. & Koyama, K. *IAU Circ.* No. 6835 (1998).

[5] Kahabka, P. & Pietsch, W. *IAU Circ.* No. 6840 (1998).

[6] Yokogawa, J. & Koyama, K. *IAU Circ.* No. 6853 (1998).

[7] Kahabka, P. *IAU Circ.* No. 6854 (1998).

[8] Cook, K. *IAU Circ.* No. 6860 (1998).

[9] Schmidtke, P. C. & Cowley, A. P. *IAU Circ.* No. 6880 (1998).

[10] Imanishi, K., Yokogawa, J. & Koyama, K. *IAU Circ.* No. 7040 (1998).

[11] Kahabka, P. & Pietsch, W. *Astrophys. J.* **312,** 919-936 (1996).

[12] Kahabka, P., Pietsch, W., Filipovic, M. D., & Harberl, F. astro-ph/9812143 (1998).

[13] Mathewson, D. S., Ford, V. L., & Visvanathan, N. *Astrophys. J.* **333,** 617-645 (1988).