

Her X-1 の気球観測*

中川 道夫**・桜井 敬久***・内田 正美†

(1984年5月21日受理)

Observations of Hard X-Rays from HER X-1

By

Michio NAKAGAWA, Hirohisa SAKURAI and Masami UCHIDA

Abstract: To investigate the time variation, we observed Her X-1 on 29 September 1982, using the total effective area 880 cm^2 NaI (Tl) scintillation counter with the field of view of $4^\circ \times 20^\circ$ (FWHM). Her X-1 was at binary phase 0.04~0.12 and 8 days after turn-on of its 35 day variation. During the observation, flux from Her X-1 was $1.5 \times 10^{-1} \text{ photons} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ (25.0~85.0 keV). And pulse profile is obtained at lowest energy band (25.0~36.3 keV).

概 要

Her X-1 の時間変動を調べるため、1982年9月29日に、有効面積約 880 cm^2 、視野 $20^\circ \times 4^\circ$ (FWHM) の、NaI (Tl) シンチレーション・カウンターを用いて観測を行った。Her X-1 の状態は、binary phase が 0.04~0.12、35日周期では、Turn-on から8日後であった。

観測中の flux は、 $1.5 \times 10^{-1} \text{ photons} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (25 keV~85 keV) であった。また、25 keV~36.3 keV のエネルギー帯で、1.24 秒周期の pulse profile が得られた。

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 大阪市立大学理学部

*** 山形大学理学部

† 大阪信愛女学院

1. はじめに

Her X-1 は、最初の発見[1]以来、軟 X 線領域に於いて、数多くの観測が行われ(例えば[2]), 1.24 秒の pulsation, 1.7 日の binary 周期[1], 1.6 日周期で起こる absorption dip[2], 35 日周期の on-off state 等の強度変化, および, エネルギー スペクトルについて詳しく報告されている。

一方硬 X 線領域に於いても, 1.24 秒の pulsation の観測, 中性子星の強磁場における電子のサイクロトロン ラインと考えられている 55 keV 附近のラインの発見[3]を契機として, 気球[4][5]や, 人工衛星[6][7]により, 多数の観測が行われた。しかし軟 X 線領域に比べると, その情報量は少ないといえる。

我々は, 1982 年 9 月に, 最大有効面積約 880 cm² の NaI (Tl) シンチレーション カウンターを用て 25 keV~85 keV のエネルギー領域で Her X-1 の気球観測を行った。

その結果が一部まとまったので, ここに報告する。

2. 観 測

今回の観測に用いたゴンドラの概略を第 1 図に示す。図示されているように, ゴンドラは, 同一方向を向くように設置された 8 個の X 線検出器群と傾斜計のみを納めた部分(内ゴンドラ)を内蔵している。内ゴンドラは天頂より南に 4° 傾いた角度で取り付けられてお

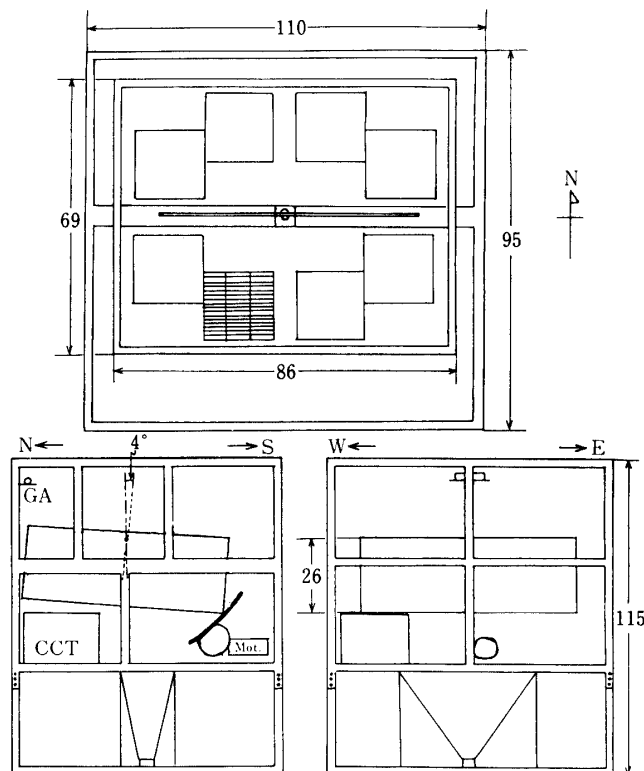


図 1 : 長さの単位は cm

り、コマンドにより、その角度から $\pm 4^\circ$ の範囲内を、 0.4° のステップで動かせるようになっている。これにより、従来の天頂角が固定される場合に比べると、X線検出器の有効面積の大きい観測が長時間可能になる。

浮遊中、ゴンドラは方向規制装置により第1図に示す向きに制御されている。また、バックグラウンドのデータを得るため、コマンドにより、方位角方向に 180° 反転させられるようになっている。バラストを除いたゴンドラの総重量は150 kgWであった。X線検出

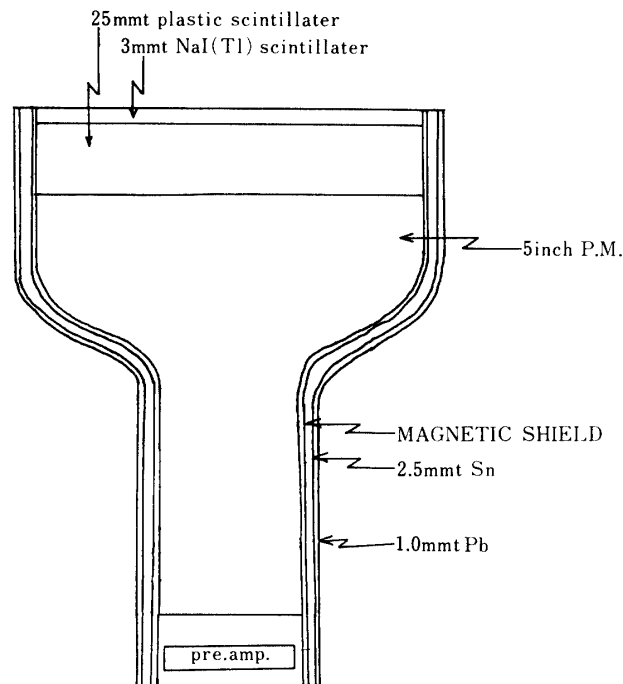


図2

器の概略図を第2図に示す。直径5 inch、厚さ3 mmのNaI (Tl) シンチレーターと、S/N比を向上させるために、同じ直径で厚さ25 mmのプラスチック シンチレーターをシリコン樹脂で、5 inch 光電増幅管に接着し、光学的に一体化している。そして入射面を除いた周囲を、磁気シールド材及び、2.5 mm厚のスズと、1.0 mm厚の鉛で覆っている。入射面には、東西方向×南北方向に、 $20^\circ \times 4^\circ$ (FWHM)の視野をもつ、1 mm厚リン青銅製のコリメーターを取り付けてある。検出器1個の最大有効面積は約 110 cm^2 である。今回の観測では、8個を用いているので合計約 880 cm^2 となる。第3図に、南中前後約3時間に、Her X-1がコリメーターの視野内を動くようすと、Her X-1に対するX線検出器の全有効面積の時間変化を示す。

X線検出器より得られた信号は、第4図に示される処理回路により、各検出器毎に6エネルギーバンド(第1表)に分割される。そして、ゴンドラ内に取りつけられている、磁気、温度、気圧、傾斜(2方向)、の各センサーから得られる環境データと共に、PCM送

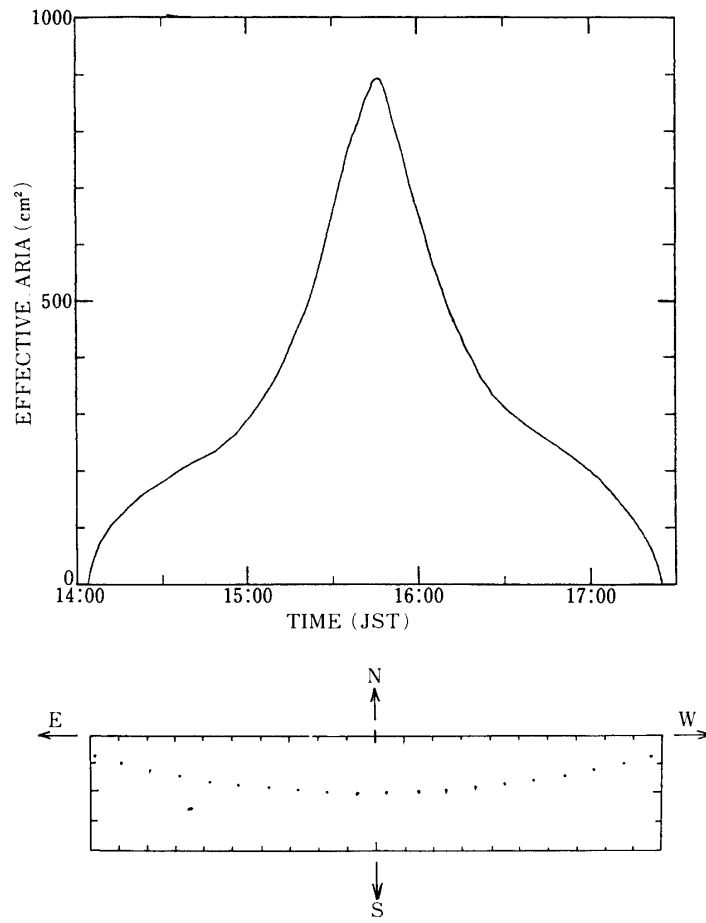


図 3

表 1

Band	Energy (KeV)
E0	25.0~36.3
E1	36.3~47.5
E2	47.5~55.0
E3	55.0~62.5
E4	62.5~73.8
E5	73.8~85.0

表2

HK フレームフォーマット

F	W	W1	W2	W3	W4
F_{4n+0}		ID-A	T	GA	C A B
F_{4n+1}		ID-B	SX	SY	O N A
F_{4n+2}		ID-A	P	GA	M S C
F_{4n+3}		ID-B	SX	SY	M W K
					A E
					N R
					D

W0 : FMK

W30 W31 : FM SYNC

HARD X フレームフォーマット

F	W	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17
F_{2n+0}		C8	C7	C6	C5	C8	C7	C6	C5	C8	C7	C6	C4	C3
		<u>E0</u>	E0	E0	E0	<u>E2</u>	E2	E2	E2	<u>E4</u>	E4	E4	E4	E4
F_{2n+1}		C8	C7	C6	C5	C8	C7	C6	C5	C8	C7	C6	C4	C3
		<u>E1</u>	E1	E1	E1	<u>E3</u>	E3	E3	E3	<u>E5</u>	E5	E5	E5	E5
F	W	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	W29	
F_{2n+0}		C2	C1	C4	C3	C2	C1	C4	C3	C2	C1	ANTI	ANTI	
		E4	E4	E2	E2	E2	E2	E0	E0	E0	E0	C1, C2	C3, C4	
F_{2n+1}		C2	C1	C4	C3	C2	C1	C4	C3	C2	C1	ANTI	ANTI	
		E5	E5	E3	E3	E3	E3	E1	E1	E1	E1	C5, C6	C7, C8	

量器を通して地上に送られ、ペンレコーダー及び磁気テープに記録された。第2表にPCM送量器のフレームフォーマットを示す。今回の観測では、8個の検出器を6エネルギーバンドに分けているため、一連のデータを送信するのに48ワード必要になる。PCM送量器は1フレーム32ワード、1ワード10ビットであり、1フレームを送信するのに20ミリ秒を要する。そこで40ミリ秒間積分したカウント数を、2フレームに分けて送信することにした。一例として、No8のカウンターのデータが送られるようすを、第2表中、点線で示す。なお同時に環境データなども送る必要があるためにワード数が不足し、一部のデータは送らなかった。

B₅₀-22号機は、1982年9月29日7時20分(JST)、三陸大気球観測所より放球され、3時間後にフライトレベルに達した。その後、35.3±1.0kmの高度を保ちながらHer X-1, Cyg X-1の観測を行ない、翌9月30日13時頃、電波の受信状況の悪化と、気球の急激な下降のため、コマンドにより観測機器を切り離し、実験を終了した。実験時間は27時間であった。

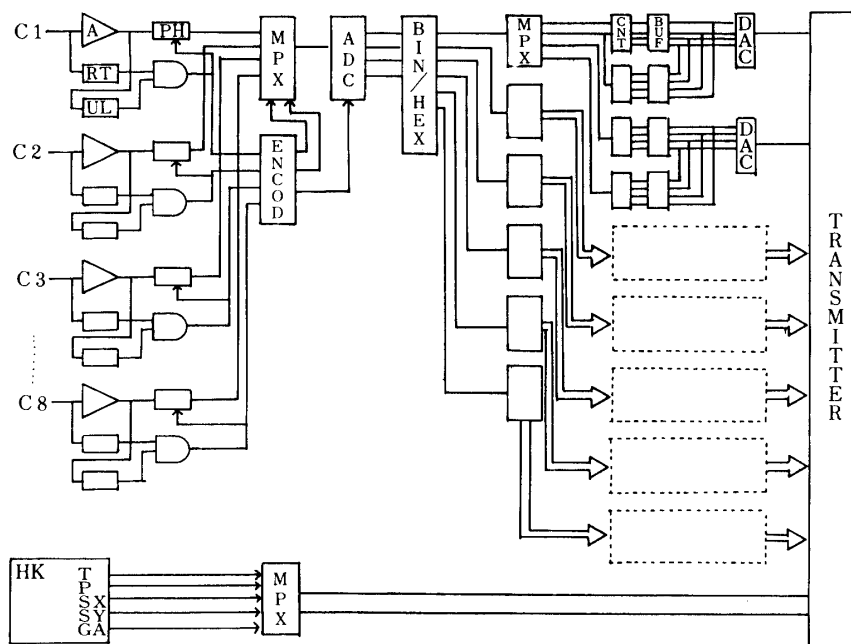


図 4

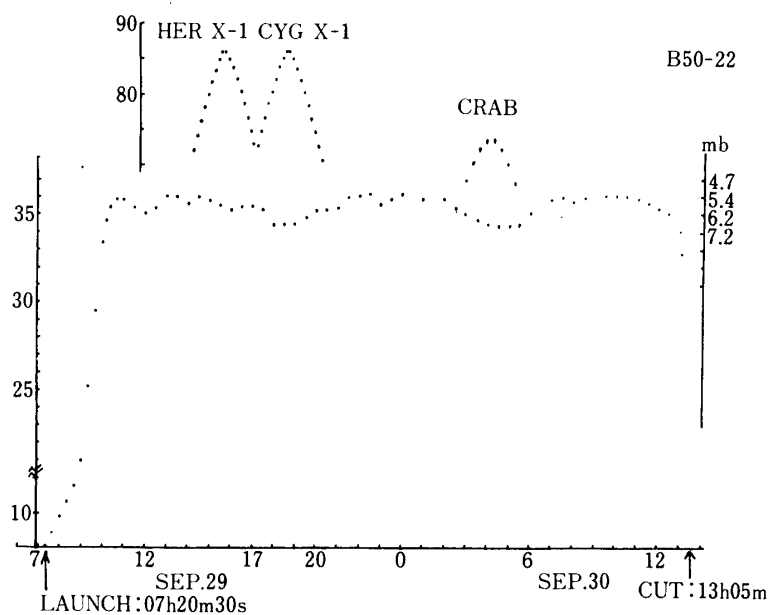


図 5

第5図に、測距及び気圧計のデータから得られた実験中の気球高度の変化と、各時刻の気球位置における、Her X-1, Cyg X-1, カニ星雲の上下角の変化を示す。

観測中の Her X-1 の状態を第3表に示す。南中は15時50分 (JST) 頃で、1.7日周期

表3 States of HerX-1

1.7day binary phase ^(a)	0.04~0.12
35day ON-OFF variation ^(b)	8.3days after turn on

(a) $P=1.70016779$ [8]

eclips center JD2443357.8711 [9]

(b) $P=34.85346$ [10]

zero epoch JD2442410.349 [10]

の binary phase は、0.08 であり、すでに eclipse は終わっていた。[2]

2. 結果

観測所においてデータレコーダーで記録されたデータは、大型計算機で処理できるデータ形式に変換されたのち、処理された。

Her X-1 の南中後約1時間半のカウント数の推移を第6図に示す。図中 on は、検出器が Her X-1 を見ている状態、すなわち on source の状態である。他の部分は、検出器が Her X-1 に対して 180° 反対側を向いている状態、すなわち off source の状態、又は、一つの状態からもう一方の状態へと変化しているときである。

off source 状態のとき、back ground が求められ、その値は $67.2 \pm 0.4 \text{ counts} \cdot \text{s}^{-1}$ (1σ) と、観測中安定した値を保っていた。このことは、観測中、装置が安定していたことを示している。

検出器のレスポンス及び大気の吸収を補正して求めた Her X-1 の flux は、 $(1.50 \pm 0.06) \times 10^{-1} \text{ photons} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (25 keV~85 keV) である。

第7図は、E0 (25 keV~36.3 keV) で得られた、1.24 秒 pulsation の pulse profile である。南中後のデータを、40 ミリ秒 bin に分け、31 bin 毎に重ね合わせて求めた。2 周期を示してある。

第3表にあるように、Her X-1 の状態は turn on より8日後で、on state の終りに近い。on state 中頃に行なわれた観測により得られた同じエネルギー帯の pulse profile は、我々の得た pulse profile と比較すると、より明瞭に出ている。[11]このことは、軟 X 線領域

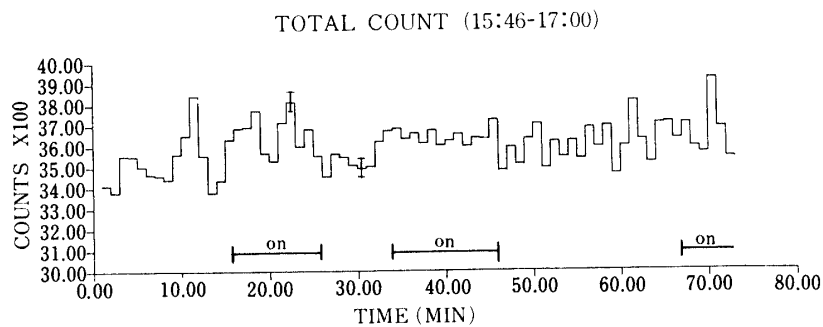


図6

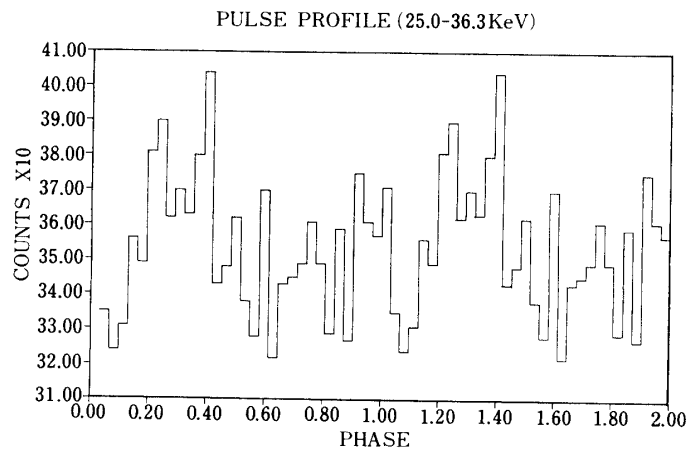


図 7

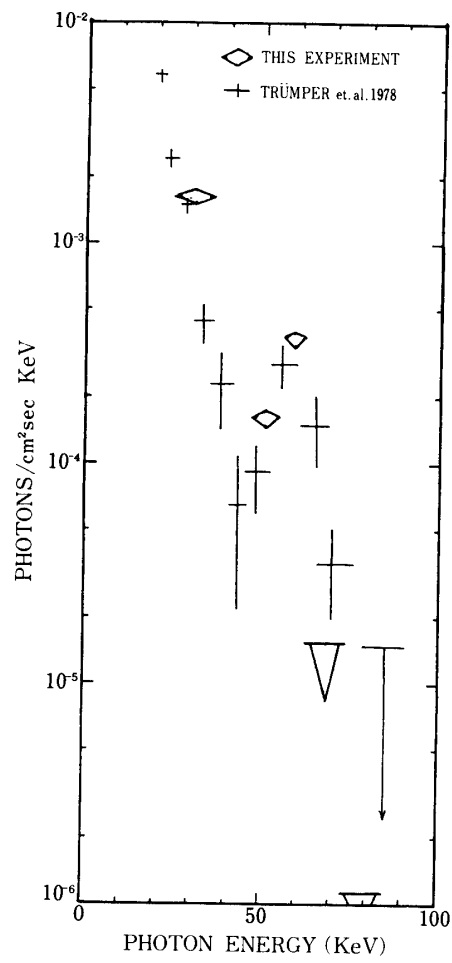


図 8

と同様[12], 少なくとも 35 keV 付近までは, on state の期間中に, pulse profile が変化していることを示唆している。

第8図は, (pulse 成分) - (off pulse 成分), を用いて求めたエネルギー スペクトルである。E 3 (55 keV~62.5 keV) 帯では, 中性子星の磁極附近の強磁場における電子のサイクロトロン ラインと考えられるライン成分が見られる。図には, Trümper 等[3]の得たエネルギー スペクトルも記入してあるが, よく一致している。

謝 辞

気球実験の際には, 宇宙科学研究所の西村研究室および広沢研究室の方々に協力していただきました。感謝しています。データ変換の際には, 近藤一郎先生に多くの適切な助言をしていただきました。感謝しています。又データ解析については宇宙科学研究所の宇宙科学資料解析センターの計算機を利用していただきました。感謝しています。

参 考 文 献

- [1] H.Tananbaum, H.Gursky, E.Kellogg, R.Levinson, E.Schreier, and R.Giacconi. *Ap.J. (Letters)*, 174, L143 (1972)
- [2] R.Giacconi, H.Gursky, E.Kellogg, R.Levinson, E.Schreier, and H.Tananbaum *Ap.J.*, 184, 227 (1973)
- [3] J.Trümper, W.Pietsch, C.Reppin, W.Voges, R.Staubert, and E.Kendziorra *Ap.J. (Letters)*, 219, L105 (1978)
- [4] W.Voges, W.Pietsch, C.Reppin, J.Trümper, E.Kendziorra, and R.Staubert *AP.J.*, 263, 803 (1982)
- [5] P.Ubertini, A.Bazzano, C.La Padula, V.F.Poicaro, and G.Vialetto *Space Sei. Rev.* 30, 327 (1981)
- [6] G.S.Maurer, B.R.Dennis, M.J.Coe, C.J. Crannell, E.P.Cutler, J.F.Dolan, K.J.Frost, and L.E.Orwig *Ap.J.* 231, 906 (1979)
- [7] D.E.Gruber, J.L.Matteson, P.L.Nolan, F.K.Knight, W.A.Baity, R.E.Rothschild, L.E. Peterson, J.A.Hoffman, A.Scheepmaker, W.A.Wheaton, F.A.Primini, A.M.Levine, and W.H.G.Lewin *AP.J., (Letters)*, 240, L127 (1980)
- [8] J.E.Deeter, P.E.Boynton, and S.H.Pravdo *Ap.J.*, 247, 1003 (1981)
- [9] P.C.Joss, F.K.Li, J.Nelson, and J.Middleditch *Ap.J.*, 235, 592 (1980)
- [10] R.Staubert, M.Bezler, and E.Kendziorra *Astron. Astrophys.* 117, 215 (1983)
- [11] E.Kendziorra, R.Staubert, W.Pietsch, C.Reppin, B.Sacco, and J.Trümper *Ap.J. (Letters)*, 217, L93 (1977)
- [12] T.Ohashi, H.Inoue, N.Kawai, K.Koyama, M.Matsuoka, K.Mitani, Y.Tanaka, F.Nagase, M.Nakagawa, Y.Kondo preprint (1984)