

参 考 文 献

- 1) F. Nagase, PASJ 41, 1 (1989).
- 2) F. Nagase et al., PASJ 36, 667 (1984).
- 3) K. Koyama et al., PASJ 41, 482 (1989).
- 4) Y. Tawara et al., PASJ 41, 473 (1989).
- 5) K. Koyama et al., Nature 343, 148 (1990).
- 6) S. Takano, K. Koyama and K. Makishima, PASJ 41, 651 (1989).
- 7) 石田 学, 科研費(総合A 宮本班)「ぎんが」研究会収録(伊豆, 1989), p. 34.
- 8) H. Tsunemi, PASJ 41, 453 (1989).
- 9) K. Makishima et al., Nature 333, 746 (1988).
- 10) T. Dotani et al., PASJ 41, 427 (1989).
- 11) K. Koyama et al., PASJ 41, 461 (1989).
- 12) K. Shinoda et al., PASJ Letters, submitted (1990).
- 13) 牧島一夫, 宇宙科学研究所報告, 印刷中(1990).
- 14) G. Clark, J. Woo, F. Nagase, K. Makishima and T. Sakao, Ap. J., in press.
- 15) T. Mihara et al., Nature, submitted (1990).
- 16) K. Makishima et al., Nature, submitted (1990).

X 線新星とブラックホール候補

常 深 博*・北 本 俊 二*・井 上 一**

X線全天モニター装置(ASM)は衛星の赤道面から45度までの領域をカバーする広い視野を持ち、毎日一回ではあるが全天の半分以上の領域のモニターをしている(H. Tsunemi et al., 1989, P.A.S.J. 41, 391)。検出限界は大面積比例計数管(LAC)に比べて観測時間の制約などから約二桁高いが、広い領域に散らばっている比較的明るいX線源の長期間に亙るモニターによりこれまでに幾つかの興味ある現象を発見している。これら、ASMの発見した重要な現象に、幾つかのX線源の起こしたフレアーがある。あるものはX線新星であり、あるものは再帰型フレアー星である。いずれも希な現象であるだけに、出来るだけ早く現象を見つけ、いろいろな波長で観測することが望ましい。従って、ASMのように異常を素早く見つける装置が必要になってくる。突発現象が見つかる、直ちに国立天文台を始めとする可視光の天文台に知らせる一方、LACで出来るだけ早く観測するようぎんが衛星の観測予定の見直しが始まる。こうして、場合によっては世界的な規模で探索や同時観測が行われる。ぎんがが軌道に乗ってから約3年経ったが、全部で約20例ほどの突発現象を捉えている。

打ち上げ直後(1987年2月)に見つけたのは、再帰型フレアー星4U 0115+63の増光で周期3.61秒のX線パルサーであった。これは、Be星と中性子星とが連星系をなすもので、軌道周期が約22日である。この種類のフレアーは継続期間が20~30日程度であり、磁場を持った中性子星にBe星の方から時折質量降着が起こるために生ずる。更に、この星はサイクロトロン吸収線のあるらしいことが以前の観測から言われており、その点でも興味深い。しかし、発見した時は既にフレアーも半ばを過ぎており、観測予定を見直すことも出来ないまま

LACによる観測は出来なかった。この星からのX線領域における過去の記録を途切れ途切れではあるが20年ほど遡って調べてみると、3年程度でフレアーを繰り返すらしいことが推定できた。事実それから3年経った今年(1990年)の2月、ASMは再びフレアーを発見した。直ちに観測予定の見直しを行い、LACによる詳細な観測を行った結果、12 keV付近と24 keV付近に非常に強い磁場に起因すると思われる線スペクトル構造を見だしている。このような再帰型X線パルサーは幾つか知られており、ASMはこれまでにA 0535+26, V 0331+53, Cep X-4などのフレアーを見つけ、LACによる詳細な観測に引き継いでいる。

1988年4月にASMはとんでもなく明るいX線新星GS 2000+25を発見した。この星は全天で一番明るいSco X-1の半分ほどの明るさになった。しかも、丁度増光し始めた時から最大強度に達するまでの約二日間に二桁ほど明るくなる現場を観測する好運にも恵まれた。発見直後直ちに(当時の)東京天文台を始め各地に連絡した。こうして世界的な規模で光学天体の搜索競争が起こったが、木曾のシュミットカメラで17等級の光学天体を最初に同定することが出来た(H. Tsunemi et al., 1989, Ap. J. 337, L81)。更に、ソビエトの衛星クワントも数百 keVに亙る領域で検出したし、間もなく、電波でも増光していることが確かめられる等、多くの波長領域で観測が行われることになった。その後、7月に一時増光したが、概ね20日程度の半減期で暗くなって行き、9月にはASMの検出限界を下回った。その間数回に亙ってLACによる詳細な観測を行った。

さて、そのX線スペクトルを調べてみると大変柔らかく、X線パルサーとは対照的である。強度の強い低エネルギー側(10 keV以下)は降着円盤からの黒体輻射で良く合い、その温度は約1 keV(1000万度)で強度は徐々

* 阪大理 Hiroshi Tsunemi, Shunji Kitamoto, ** 宇宙研 Hajime Inoue: X-ray Novae and Blackhole Candidates

に下がって行った。一方、強度の弱い高エネルギー側(10 keV以上)では黒体輻射からずれており、巾乗成分がはっきり見えてくる。これは、クワントで確かめられたように100 keV以上にまで伸びており、その巾指数は1.5程度であるが、強度はかなり変動している。この成分はLACとASMとのデータを合わせると、数日で数倍の変動を示したこともあるなど、低エネルギー側の黒体輻射成分とは正反対の振舞いであった。

一般に、中性子星やブラックホールと言った高密度星に落ち込む降着物質は降着円盤を形成すると考えられている。そして、降着円盤の進入を途中で防ぐほどの強い磁場がなければ、降着円盤は高密度星のごく近くまで進入する。降着円盤は理論的には光学的に厚い状態と薄い状態とのあることが知られているが、もし光学的に厚い状態なら、降着円盤から黒体輻射が見えることになる。降着円盤からの輻射量は、高密度星に近く重力ポテンシャルが深くなるほど強くなり、その温度も上昇する。そして、太陽程度又はその10倍くらいの質量の中性子星やブラックホールの近傍では、円盤の温度が約1 keVにも達する。GS 2000+25のスペクトルに見られた低エネルギー側の黒体輻射はこのような起源と考えられる。

ところが、定常的に光っている磁場の弱い中性子星を含むX線星のスペクトルには、温度約1 keVの降着円盤からの黒体輻射に重なって温度が約2 keVの黒体輻射が見られる。この温度の高い成分は、降着円盤中を高速で回転している降着物質の回転エネルギーが、それよりも低速で回転している中性子星表面で解放されると考えて辻褃があう。一方、連星系の運動から高密度星の質量が中性子星の質量の理論的限界値を越えているため、ブラックホールではないかと考えられているX線源(Cyg X-1, LMC X-1, LMC X-3, A 0620-00)は皆GS 2000+25に見られたような大変柔らかいスペクトルを示すことがあって、それらは約1 keVの降着円盤からの黒体輻射と高エネルギー側に張り出した巾型スペクトルの合わさった形をしている。このブラックホール候補に共通して見られる降着円盤からの黒体輻射が目立つスペクトルには、ブラックホールには中性子星と違って硬い芯がなく、従って中性子星のスペクトルに見られた約2 keVの黒体輻射成分が消えたためと解釈できる。しかし、中性子星表面からの成分に相当するものが完全に消えてしまったわけではなく、降着円盤がブラックホールに落ち込んで行く時になんらかの機構で巾型スペクトルをしたX線を輻射するものらしく、何故芯がないはずのブラックホール周辺からそのような輻射が出てくるのか、今のところよく判っていない。

このように、GS 2000+25からのスペクトルはブラックホール候補のものに良く似ている。一方、連星系にあ

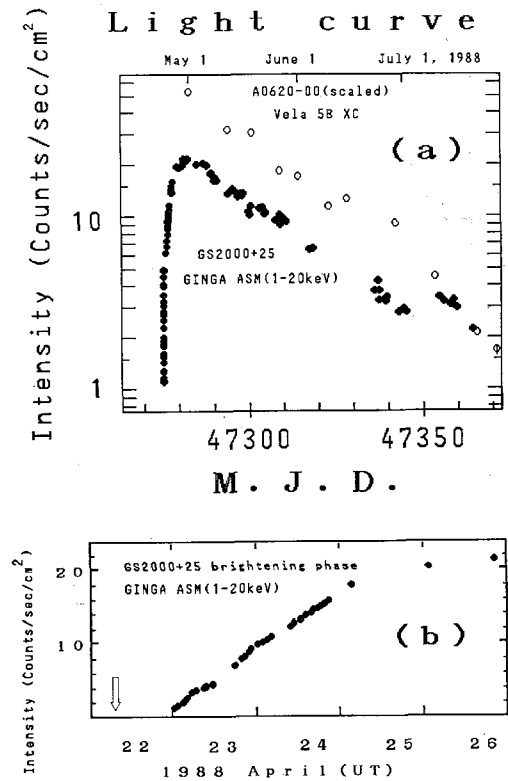


図1 GS 2000+25の光度曲線(1~20 keV)。図中にはA 0620-00も比較のため示した。ここに示したデータは全てASMによる。

る高密度星の質量を正確に決めるには、相手の星の動きを調べるくらいしか手がない。しかし、X線新星の場合には、X線の増光と同時に光でも増光していることから、増光中の光は相手の星よりもむしろ降着円盤から来ている。従って、高密度星の研究のためにはフレアーが終了した後、相手の星のスペクトルを詳しく調べる必要がある。1975年に出現した史上最大のX線新星A 0620-00の場合も、そのフレアーが終了した後、可視光(19等級)による詳しい研究の結果、高密度星の質量の下限は太陽質量の3.2倍と判り、ブラックホールであるらしいことになった。このように考えて来ると、GS 2000+25が有力なブラックホール候補であると言える。しかし、フレアーが終了した後の可視光での明るさは22等級以下であり、詳細な研究は現在の規模の望遠鏡では難しい。

1989年5月にASMは再び奇妙なX線新星GS 2023+338を発見した(S. Kitamoto et al., 1989, Nature, 342, 518)。これは可視光でV 404 Cygと呼ばれる変光星で1938年にも増光した記録がある。直ちに可視光や電波などでも広範に追跡の始まったのは言うまでもない。発見後の10日間ほどは、数分から数十分の時間で非常に

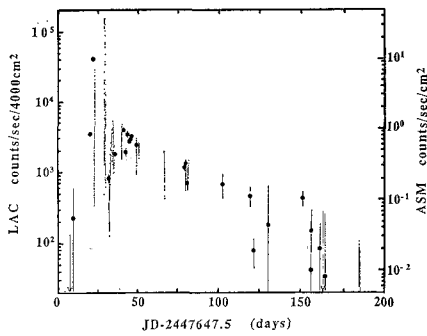


図 2 GS 2023+338 の光度曲線 (1~20 keV). 黒丸は ASM によるデータ点であり, 点は LAC による.

激しく強度とスペクトルの変動を示し, その最中には全天で一番明るい Sco X-1 に匹敵する明るさにまでなった. その後は, GS 2000+25 や A 0620-00 と同じ様な半減期で徐々に暗くなって行った. 強度減衰期には, 数秒あるいはそれ以下の短い時間スケールでは激しい強度変動が見られたが, そのスペクトルは一貫して巾が 1.5 程度の巾型スペクトルを示した. これらの強度変動とスペクトルの振舞いは, ローステートと呼ばれる通常の Cyg X-1 の様子を極めて似ており, この新星もブラックホールを含んでいる可能性が高い. しかし, この星に

対しても, フレア終了後の相手の星の詳細なスペクトル観測によって高密度星の質量を決めなければはっきりしたことは言えない.

ぎんが搭載の ASM の発見した GS 2000+25 と GS 2023+338 とは共にブラックホールを含む連星系である可能性が高い. しかし, GS 2000+25 のフレア中のスペクトルには, 降着円盤からの黒体輻射成分が終始存在したのに対して, GS 2023+338 には全く見られなかった. この降着円盤からの黒体輻射が見られる状態と見られない状態とは, Cyg X-1 のハイステートとローステートと呼ばれる二つの状態に相当すると考えられる. どちらの場合も, 高エネルギー側の巾型スペクトルは共通しているので, ブラックホールのごく近くでは降着流は似たような状態なのだろうが, 少し外側の降着円盤は光学的に厚い状態と薄い状態とがあるのだろう. 降着物質の流量の差がこれら二つの状態を分けるのだろうと言う説がこれまで考えられ, それに従ってハイステート, ローステートと呼ばれたわけである. しかし, この二つの X線新星では, 降着物質の流量が大きく変化したにも拘らず, どちらも片方の状態を保ち続けたわけで, 二つの状態の遷移が何をきっかけに起こるのかをもう一度考え直さなければなるまい.

HAMAMATSU

天体観測のさまざまなニーズに……

「馬頭星雲」60cm F4.7ニュートン 直焦点C3640 使用露出90秒(館山天文台にて)

浜松ホトニクスは、アマチュアからプロまでさまざまな天体観測にあわせたテレビカメラのラインアップをそろえています。

AVIS……ローコスト天体ビデオ撮影システム
 C3640……100万画素冷却CCDテレビカメラ
 C2741……フォトンカウンティングテレビカメラ

浜松ホトニクス株式会社

システム営業部 ☎(0534)52-2148
 機器営業部 ☎(0534)52-2141
 東京支店 ☎(03)436-0491
 大阪営業所 ☎(06)271-0441