

もっとも確実なブラックホール候補 GS 2023+338

“ぎんが”衛星が1989年5月に発見したX線新星GS 2023+338は、その特異な性質から、中性子星ではなく、ブラックホールを含むX線連星ではないかと考えられていた。最近、可視光による連星運動の観測から、GS 2023+338の中心天体の質量が、確実に太陽質量の6.26倍以上あることが明らかになった。これは中性子星の最大質量—太陽質量の約3倍—を大きく越えており、GS 2023+338の中心天体は、ほぼまちがいにブラックホールだと考えられる。

ブラックホールは、その名の通り、きわめて強い重力場のため光さえも出て来られないような天体である。自らは光を出さないため、単独にいる時にはまず見つけられないが、連星系の一員だと明るいX線源になることがある。これは、強い重力場により伴星の物質がはぎ取られ、ぐるぐる渦巻ながらブラックホールに落ちてくる際に、摩擦でX線を出すほどの高温（一千万度）に加熱されるためである。では、X線を出す連星系にはブラックホールが存在するかと言うと、必ずしもそうではない。中性子星を含む連星系も強力なX線を放射し、しかもこちらの方が、よほど数が多いのである。そこで、X線を出しているのが中性子星ではなくブラックホールだろうと考えられる時に、特に“ブラックホール候補”と呼ぶことになっている。

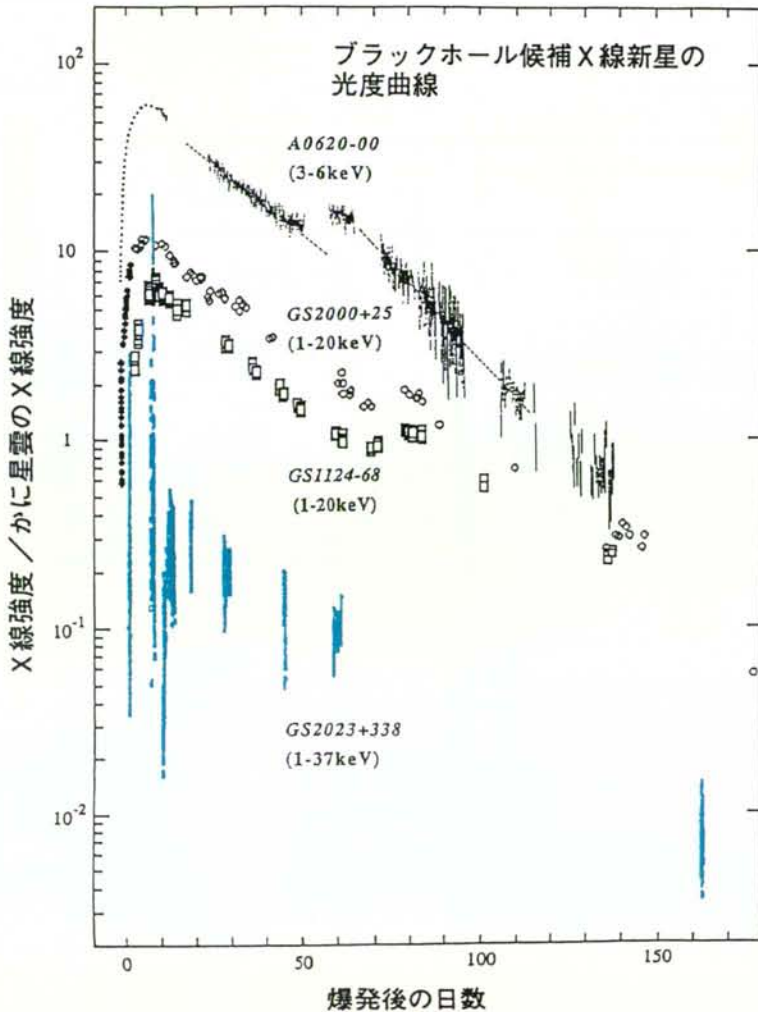
では、中性子星とブラックホールを区別するには、どうすれば良いのだろうか。中性子星とは、その名前のおとおり、中性子どうしの反発力によって支えられている天体だが、この反発力で支えられる質量には絶対的な上限があり、それは太陽の約3倍である。これよりも大きな質量を持つ高密

度な天体は、何によっても支えられることなく、ただひたすら収縮していく。これがブラックホールである。つまり、ブラックホールと中性子星は、その質量で区別できるのである。

さて、X線連星の公転運動にともなう、スペクトル線のドップラーシフトの観測（通常、可視光領域でおこなわれる）から、ケプラーの第3法則を用いて中心天体の質量に制限がつけられる場合がある。これによって、Cyg X-1、LMC X-3、A 0620-00の3つのX線天体については、中心天体の質量が太陽質量の3倍よりも大きいことがわかっている。よってこれらのX線源は確実なブラックホール候補と言えるだろう。一方、中心天体の質量は不明だが、これらのブラックホール候補と共通の性質を示すX線天体が存在する（例えばGX 339-4）。このようなX線天体は、ブラックホールの確からしさをやや欠いた、“ブラックホール候補の候補”といえるかも知れない。

1987年2月から1991年10月まで活動していた、日本のX線天文衛星“ぎんが”は、毎日ぐるりと全天を走査して、X線天体の長期変動を調べたり、新しいX線天体の探索を行っていた。このようにして“ぎんが”が発見したX線新星は6個あり（これらはGinga Satelliteの頭文字と、その天体の赤経赤緯をとって、GS #-#と名づけられている）、そのうち4つ（GS 1124-683、GS 1354-64、GS 2000+25、GS 2023+338）は、そのX線における性質から、ブラックホール候補（の候補）と考えられている。

A 0620-00は、1975年に発生したX線新星であり、これまで最も確実なブラックホール候補と言われてきた。図に、A 0620-00とともに、“ぎんが”が発見したブラックホール候補X線新星の光度曲線を示す。どの光度曲線もよく似ていて、ほぼ同じ傾きをもった右下がりの直線—一時定数が約30日の指数関数—で表わされる。これは、これらのX線源がお互いによく似た系—おそらく、ブラックホールと太陽質量以下の伴星からなる連星系—



であることを示唆している。

GS 2023+338 は、1989年5月21日、はくちょう座の方向に発見されたX線新星である¹⁾。発見後、直ちに可視光で位置決定が行なわれ、1938年に増光が観測された、V 404 Cygni と呼ばれる再帰型新星と同定された。X線で観測したGS 2023+338の性質、特にべき乗型のエネルギースペクトルや激しい短時間変動が、確実なブラックホール候補 Cyg X-1 に似ていることから、このX線新星もブラックホールだろうと考えられる。

“ぎんが”により有力なブラックホール候補だと報告されて以来^{2),3)}、その中心天体の質量を探るために、世界中の天文学者がGS 2023+338を精

力的に観測してきた。発生当初は降着円盤からの光が強く、暗い伴星を精密に観測することは困難であったが、最近、伴星の吸収線のドップラーシフトから、6.473日の見事な連星周期が発見された⁴⁾。この連星周期と、視線方向の速度振幅 (211 km/s) から、GS 2023+338の中心天体の質量関数—伴星の質量をゼロと仮定したときの中心天体の質量、すなわち中心天体の質量の絶対的な下限—が、太陽質量の6.26倍と求められた。これは、中性子星の最大質量、太陽質量の約3倍よりもはるかに大きい。一方、Cyg X-1、LMC X-3、A 0620-00の質量関数は、それぞれ、太陽質量の0.252、2.3、3.18倍である。Cyg X-1、LMC X-3の中心

天体については、伴星の質量についてもっともらしい仮定をすることによって、その質量の下限が太陽質量の3倍より大きいことがわかっている。GS 2023+338 は、これらどのブラックホール候補よりも大きな質量関数を持つ、もっとも確実なブラックホール候補だと言えるだろう。

“ぎんが”によって発見された他のブラックホール候補についても、やがて可視光による観測から中心天体の質量の下限が求められ、ブラックホールの存在がより確実になることが期待される。そして、なぜブラックホールを含むX線源が、中性子星を含むX線源にはみられない、特徴的な性質を示すのかを解明し、巨大ブラックホールを含むと考えられる活動的銀河中心核やクェーサーとの関連を明らかにすることは、今後のX線天文学に課せられた大きな課題である。

海老沢 研 (NASA/ゴダード宇宙飛行センター)

参 考 文 献

- 1) Kitamoto et al. 1989, Nature, **342**, 518.
- 2) Tanaka, Y. 1989, Proc. 23rd ESLAB Symp. on Two Topics in X-ray Astronomy, **1**, p. 3, ESA.
- 3) 吉田健二 1990, 修士論文 (東京大学).
- 4) Casares, J., Charles, P. A. and Naylor, T. 1992, Nature **355**, 614.

太陽ニュートリノの謎に迫る

太陽ニュートリノが足りない。太陽標準模型が間違っているのか、それともニュートリノに未知の性質があるのか。次々と解決のシナリオが考えられる一方、カミオカンデではフラックスが少ないことを追認し、さらにエネルギー・スペクトルまで測った。ガリウム実験では異なるエネルギー領域のニュートリノを測り始めている。また、超新星 1987 A からのニュートリノの観測、質量測定実験、加速器 LEP の実験など、ニュートリノに関する情報も増加している。太陽ニュートリノ問題の解に向かって、いままじつづつ収束しようとしている。

1. 太陽ニュートリノ問題

最も身近な恒星で、よく理解しているつもりであった太陽。そのエネルギーの源である核融合反応で生成されるニュートリノを観測してみると理論の3分の1しか検出されない。それが1970年代から今もなおアメリカのホームステイク (Homestake) 金鉱で太陽ニュートリノを観測しているデイビスらの結論であった。実験に非は見あたらない。そうすると標準太陽模型が間違っているか、ニュートリノに未知の性質があって太陽から検出器までの伝播過程が正しく理解されていないかのいずれかである。前者は天体物理学の、後者は素粒子物理学の興味深い問題である。

2. 神岡でも観測を

デイビスらのホームステイク実験は、615トンの洗剤液にふくまれる塩素原子がニュートリノを捕獲してできるアルゴンを回収し、その崩壊を比例計数管で計測することによって太陽ニュートリノのフラックスを測定する。カミオカンデ