

ブラックホール連星の軌道計算と

小型 JASMINE 衛星での観測可能性の検討

谷 昌典 (高校1年)

【広島大学科学わくわくプロジェクト科学塾研究室／広島県立広島高等学校】

1. 研究の目的

ブラックホールと恒星が互いに連星系をなしてまわっている天体をブラックホール連星という。ブラックホール自身は電磁波を出さないので、伴星である恒星を観察し、その運動からブラックホールと思われる天体のパラメータを調べる方法がある。しかし、これまでに光のドップラー効果を利用した視線方向（我々が天体を見る方向）の速度の情報しか得られていないため、軌道傾斜角や軌道の向き（天空面上の方位角）が不明なままで、ブラックホールの質量といった基本的な物理量でも誤差が大きいものが多い。一方、近い将来の打ち上げが期待される小型 JASMINE 衛星は、10 マイクロ秒角という詳細な位置決定精度をもっていることから、伴星の軌道を正確に決められる可能性がある。

そこで今回は可視近赤外域で比較的明るい Cyg X-1 と SS 433 という2つのブラックホール連星候補と LS I +61 303, LS 5039 という2つのマイクロクエーサー（コンパクト星かブラックホールか中性子星かは決着していない）について、それぞれ距離や軌道がどのように求められ、天球面上でどのように見えるかを計算してみた。最終的な目標は、小型 JASMINE 衛星でこれらの軌道を観測可能かどうか見極めることである。

2. JASMINE 衛星について

JASMINE とは、Japan Astrometry Satellite Mission for Infrared Exploration の略で、赤外線や可視光で様々な天体を高精度で観測することを目的としている。JASMINE 衛星に先駆けて打ち上げられる予定である小型 JASMINE 衛星では、近赤外 H α バンドで 11.5 等より明るい天体に対し、JASMINE 衛星と同じ 10 マイクロ秒角の精度で位置を決定することが出来る。

3. 天体の軌道について

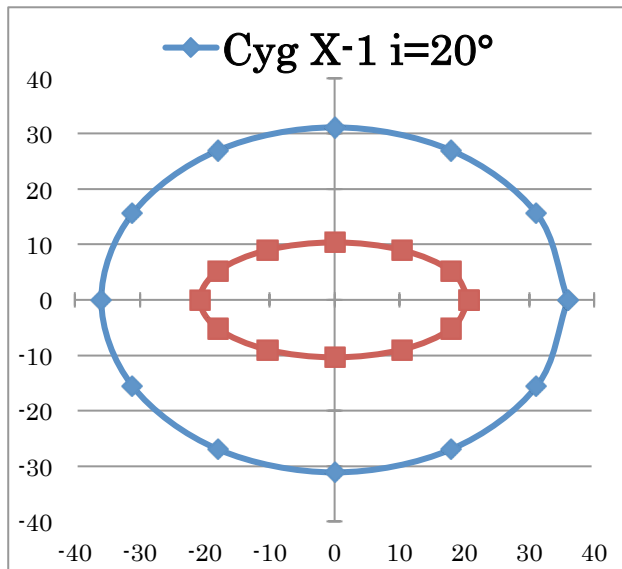
一般に、天体の軌道は楕円形である。その公転面が私たちにたいしてどの程度傾いているか（軌道傾斜角）、楕円の長軸がその公転面の中でどれだけ回転しているか、という2つの傾きによって、天球面上での見え方は異なってくる。

これまでに、恒星の視線方向の運動から得られた軌道データに基づき、公転面の傾きを取り得る範囲で変えてそれに応じて軌道が天球面上でどう見えるか図示した。

4. 結果

計算は、互いの質量差が小さい 2 質点の運動の古典的計算法を用い、上述の注目度の高い 4 つのブラックホール連星候補について行った。以下ではそのうち、Cyg X-1 について述べる。軌道パラメータや距離は McClintock & Remillard「Black Hole Binaries」§ 4.1 に従った。図は、軌道傾斜角 $i=20^\circ$ 、 60° の場合に私たちから見た伴星の動きを示している。つまり公転面が、私たちが天体を見る方向に対しそれぞれ 70° 、 30° 傾いている。また、横軸、縦軸共に単位はマイクロミリ秒角である。

小型 JASMINE 衛星の精度は 10 マイクロ秒角級、限界等級が $H_w=11.5$ 等級なので、 $H=6.7$ 等級の Cyg X-1 を十分観測可能であることが分かった。その観測から、軌道傾斜角や軌道の向き、楕円の離心率、そしてブラックホールの質量を決定することも可能になると期待される。



Cyg X-1	質量	長径	短径
$i=20^\circ$	14.5M sun	70m μ cro	62m μ cro
$i=60^\circ$	7.32M sun	41m μ cro	20m μ cro
周期	134.396h	H等級	6.65等

5. まとめ

小型 JASMINE 衛星では Cyg X-1, SS 433 が確実に軌道を空間分解可能である。LS I +61 303, LS 5039 は軌道傾斜角が 0° に近いときに分離可能である。

質量が 3 太陽質量を超えていればブラックホールであるといえるので、今回調べた天体のうち Cyg X-1, SS 433 はほぼ確実にブラックホールである可能性が高い。また、LS I +61 303, LS 5039 については観測結果によってブラックホールか中性子星か判別できる。