Screw Instability in Black-Hole Magnetospheres

松岡 智也 [1]、富松 彰 [2](名大)、高橋真聡 [3](愛教大)

ＡＧＮなどで盛んに研究されている軸対称・定常ブラックホール磁気圏モデルでは、ブラックホールや降着円盤を貫く磁力線はある角速度を持って回転し、また周囲のプラズマとの相互作用によって弱い方位角方向の成分が生じると考えられている。通常のプラズマ物理に於いては、このような磁力線の捻れは非軸対称な ラセン型の摂動 に対して不安定となる可能性がある。この不安定性が発生すると、磁力線の捻れとして蓄えられたエネルギーがプラズマの内部エネルギーとして開放されるので、ブラックホール磁気圏からの高エネルギー プラズマフレアの引金として期待できる。従来の研究ではプラズマ物理での 判定条件を用いてブラックホール磁気圏の安定性が議論されてきたが、その判定条件にはブラックホール磁気圏特有の強い重力 や 磁力線の回転の影響が考慮されておらず、妥当性に問題がある。

我々は Kerr ブラックホールの周囲の軸対称・定常な回転 *force-free* 磁気圏に対して磁力線の線形摂動が成長するための条件を解析した。そのために、プラズマ物理で不安定性の解析に用いられるエネルギー原理の手法を Kerr 時空において定式化した。さらに、らせん型不安定性は長波長モードで危険な大局的不安定性であるため、背景時空が平坦と近似できる程遠方での摂動を考え、一様ポロイダル磁場と弱いトロイダル磁場がある平衡磁気圏に対して磁力線の回転 の効果に着目して解析した。その結果、ある与えられた平衡磁場 B^z, B^ϕ が角速度 Ω_F を持って回転している時に、遠方で半径 ϖ_0 の円筒領域に生じる波長 k^{-1} のラセン型摂動に対し不安定となる為の必要条件として

$$k\varpi_0 < \left|\frac{B^\phi}{B^z}\right| \quad \text{且つ} \quad \varpi_0\Omega_F \ll (k\varpi_0)^2 \left|\frac{B^\phi}{B^z}\right|$$

を得た。第一の条件はプラズマ物理でよく知られている判定条件であり、第二の条件は磁力線の回転はらせん型不安定性に対し安定化作用 がある事を表している。また、*force-free* 磁気圏では遠方の磁場が境界条件によって決定される事を用いて、この新しく得られた判定条件を種々のブラックホール磁気圏の平衡磁場モデルに適用した。特に、ゆっくり回転する ブラックホールを貫く磁力線 が遠方で不安定となる為には、ブラックホールの角速度 Ω_H は $r_H\Omega_F \ll (r_H\Omega_H)^3$ 程度である必要がある事が明らかになった。ここで r_H は地平面の半径。このような磁力線では Blandford-Znajek mechanism の効率は低く抑えられており、不安定性による 準周期的なフレア としてのエネルギー解放が期待される。一方、降着円盤を貫く Blandford の 放物型磁場は遠方でのラセン型不安定性に対して安定 であり、磁気遠心力によって生じる wind は定常的に降着円盤からエネルギーを引き抜く事ができる。

[1] t_matsu@allegro.phys.nagoya-u.ac.jp
[2] atomi@allegro.phys.nagoya-u.ac.jp
[3] takahasi@phyas.aichi-edu.ac.jp