

シヴァルツシルド BH 事象限界近傍におけるプラズマ環境における電波放射の発生 Generation of Radio Waves in the Plasma Environments of Regions close to the Event Horizon of Schwarzschild Black Hole

大家 寛^{1*}Hiroshi Oya^{1*}¹ 東北大理・地球物理¹ Geophysics, Tohoku Univ.

1. 序

前回までの研究ではデカメータ、およびデシメータ波帯において、我が銀河系中心からの電波パルスを受信していて、これが、自転するブラックホールを起源とすること、そのパルス周期は電波源となるブラックホールの自転と同期していること、またその電波源は事象限界近傍に位置し事象限界からの距離は事象限界の BH 中心から距離との比として表す時、デカメータ波源が $10E-6$ から 10^{-4} 、デシメータ電波源が $10E-2$ 以上と推測してきた。そしてシヴァルツシルド BH をとりあげ、事象限界近傍での電波源の可能性をプラズマ波動の成長の視点から検討した。モデルとして、高密度の磁化プラズマの存在とこのプラズマと相対運動をする電子ビームの存在を仮定し波動の成長の可能性を示した。今回さらに理論式の完全なものにし、また可能な BH プラズマ・パラメータ

に対し波動の分散関係を計算した。

2. 理論の骨子

一般相対論における電磁方程式は二種の表現が使われているが、本論では 4 元ゲージポテンシャルによる表現を用い、ポテンシャル場の源となる 4 元電流に対しては重力場、電磁場の影響を受けるプラズマ波動成分と Cherenkov 過程を通じて相互作用する電子ビームの存在を仮定した。粒子に対する取り扱い及び演算対象は前回述べた(2012年SGEP秋季学会)とことと同じである。即ちビームとの共鳴状態ではビームからプラズマ運動の波動成分へ運動量が平均的に輸送されるマクロモデルを用いた。輸送量パラメータは波動の角周波数 ω に対し $Z = \eta/\omega$ を用い、角周波数 ω 、屈折率 $Myu(\text{real})+i \cdot Myu(\text{imag})$ を求めている。

今回はゲージポテンシャルに関する 4 個の方程式に対しさらに加えられている条件を厳密にとりいれている。したがって、変数がひとつ増え Non-trivial Solution をもたらす条件となる 5 行 5 列の複素行列式を数値解法によって解くことになった。

3. 結果と検討

基礎事項として指摘している、シヴァルツシルド時空の湾曲を特徴づける事象限界からの比距離を代表するパラメータ $R (= 1 - r_g/r$; ただし r_g はシヴァルツシルド半径 r は BH 中心からの距離) の依存性が今回の研究でも焦点になり、光速が cR となる点が重要であり、従ってビームの速度の上限も R に比例して減少する。効果的なビーム・波動相互作用はプラズマ周波数と高域ハイブリッド周波数の間に存在する高域ハイブリッド波ブランチとホイッスラーモード波において確認される。特に新たな 5×5 行列の解が波動の分散関係を満たすことは $R=1$ の非相対論限界で Appleton - Hartree の分散関係式と対比することによって確認された。

また以下の点でも前回の結果を確認することとなった、即ち UHR ブランチの波は十分な強度に成長しつつ下方 (BH 中心部方向) に向かうが周囲プラズマ密度の増大により局所プラズマ周波数と一致した点で外部方向に転換すると同時にモード変換をして電磁波モードになって BH から脱出する。

今回の研究では新たに、BH の Event Horizon 近傍のプラズマ・パラメータを検討し 20MHz の電波の発生には固有プラズマ周波数、および電子サイクロトロン周波数は $1E11$ から $1E14$ Hz になる。即ち、固有周波数で考えるならば赤外線からミリ波に該当する電磁波は、一般相対論効果を受けてデカメータ波帯電波となり、太陽 (同時に地球) 方向に伝搬する。途中では降着円盤領域の磁場強度、密度ともに高い領域に入るとき再びホイッスラー・モードなど、プラズマ内部伝搬モードに変換されるが、最終的に銀河系空間に脱出することが、可能と考えられる。

4. 結論

シヴァルツシルド時空において事象限界近傍にて、一般相対論的電磁気方程式を解くことにより電磁波放射の可能性を、今回特に理論式をより完全なものとして 5×5 複素行列式を解く方向に改善し検討した。結果は前回の結論を確認するもので、従来の熱的放射が R の関数として抑圧されるとの認識は誤りで、強い重力場中で加速・形成された電子ビームが周囲プラズマとの間で生む非熱的プラズマ波放射が重要である。このビーム・プラズマ相互作用によって生まれる UHR ブランチのプラズマ波動は事象限界近傍 $R=1 E-6$ までも十分発生し、このような深部の事象限界近傍でもデカメータ波電波およびデシメータ波の電波源が存在しうる。

なお、本論は回転のない BH について検討したものであるが、今後パルス電波源として不可欠な Kerr Metric による理論へと発展させてゆく計画である。

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PEM27-13

会場:301A

時間:5月24日 12:15-12:30

キーワード: ブラックホール, 一般相対論的電磁気学, プラズマ波動, 波動粒子相互作用, 事象限界近傍
Keywords: Black Hole, Shiwartzschild, General Relativistic EM Theory, Plasma Waves, Near Event Horizon