

SMBH候補天体としてのNTS star とBH磁気圏によるプラズマの運動

大阪市立大学 理学研究科 宇宙物理研究室 遠藤洋太

0.モチベーション

- 一般相対性理論の帰結の1つとして**ブラックホール(以下、BH)**の存在が予言された。
- 観測技術の発展により**BHの直接観測**(重力波干涉計・EHT project)が活発になった。
- 超大質量ブラックホール(SMBH)**候補天体や**BH Jet**の生成メカニズムが不明

BH Jet の正体？

SMBH候補天体の正体？

1.Schwarzschild BH 周りでの磁場の方程式

Tomimatsu, Takahashi (2001)

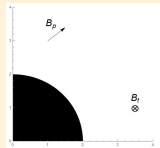
- Schwarzschild 計量** : (回転していない BH)

$$F(r) = 1 - \frac{2m}{r}$$

$$ds^2 = -F(r)dt^2 + F(r)^{-1}dr^2 + r^2d\Omega_2^2$$

- 磁場の poloidal 成分**:

$$\mathbf{B}_p = \frac{\nabla\Psi \times \mathbf{e}_\phi}{2\pi r \sin\theta}$$



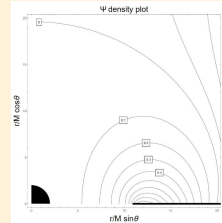
- Maxwell equation (軸対称)**:

$$r^2 \frac{\partial}{\partial r} \left[F \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right] + \sin\theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right] = 0$$

⇒変数分離、Legendre 関数で展開

境界条件

- 十分遠方で有限
 - 赤道面上に内側に境界がある disk current を置く
- ⇒disk current がある分布のとき解析的に解ける。



2.Kerr BH周りでの磁場の方程式

Petterson (1975), Moss (2011)

Takahashi, Y.E in preparation

- Kerr 計量** :

$$(\text{回転BH}) \quad \left[\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta, \quad \Delta = r^2 - 2Mr + a^2 \right]$$

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2Mr}{\Sigma} \right) dt^2 - \frac{4aMr \sin^2 \theta}{\Sigma} dt d\varphi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{2a^2 Mr \sin^2 \theta}{\Sigma} \right) \sin^2 \theta d\varphi^2$$

- Maxwell equation (軸対称)**:

$$-\Delta \partial_r^2 \Psi - \frac{1}{\sin\theta} \partial_\theta (\sin\theta \partial_\theta \Psi) + \left(\frac{1}{\tan^2 \theta} + 1 \right) \Psi = 0$$

⇒変数分離、Legendre 関数で展開

境界条件

- 十分遠方で有限
- 赤道面上に ring current を置く

赤道面にある特定の disk current が存在する場合、Schwarzschild 計量と同様に、磁場の計算ができるのではないか？

⇒できそう！！
(現在解析中)

A.NTS star

Ogawa, Ishihara(2019,2022)

- 平坦な時空で非線形な場の理論にはエネルギーが局在する古典解(以下、NTS)が存在する。
- NTSと重力の結合系もNTSを解に持ち(以下、NTS star)、NTSとは異なった性質を持つ解が見つかった。
- このNTS star はSMBH(~ 10¹⁰ M_⊙)程度の質量持つことが示唆されており興味深い。

NTS star を解に持つ系 :

Einstein U(1) gauge Higgs system

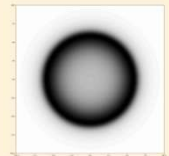
$$S = \int \sqrt{-g} d^4x \left\{ \frac{R}{16\pi G} - g^{\mu\nu} (D_\mu \psi)^* (D_\nu \psi) - g^{\mu\nu} (D_\mu \phi)^* (D_\nu \phi) - \frac{\lambda}{4} (|\phi|^2 - \eta^2)^2 - \mu |\phi|^2 |\psi|^2 - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \right\}$$

ψ, ϕ : スカラー場 $F_{\mu\nu}$: ゲージ場 $g_{\mu\nu}$: 重力場

B.NTS star の現在

Ogawa, Ishihara, Y.E (2022)

- 複数のパラメータの組み合わせにより、多数のNTS star が得られている。
- その数値解にBHと同様の性質を持つ球対称な数値解が含まれていた。
- 線形摂動に対する安定不安定の臨界点がある物理パラメータに存在することが示せた。
- 現在、軸対称解を導出中。



NTS star の一例 (energy density plot)

3.まとめ

- 回転していないBH周りの磁気圏の構造を理解できた。
- 回転BH周りの磁場に対する方程式の特性を理解できた。

4.今後の課題

- 導出された回転BH周りの磁気構造の精査
- プラズマの運動とそれによる磁気構造の変化の解析
- BHではなく、球対称NTS star の場合の磁気圏の導出
- 軸対称NTS star の導出とその周りの磁気圏の導出